



Атом во имя прогресса!

ЧЕЛОВЕК. ЭНЕРГИЯ. АТОМ

Научно-публицистический журнал №1 (41) 2024



● **КАЗАХСТАН-ЯПОНИЯ:
30 ЛЕТ УСПЕШНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА**

● **БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ:
ПРОЕКТЫ COTELS, EAGLE, CORMIT, FUKUSHIMA DEBRIS**



В 2024 году исполнилось 30 лет сотрудничеству между Национальным ядерным центром Республики Казахстан и японскими организациями, институтами и компаниями в области мирного использования атомной энергии и ядерных технологий. Об итогах совместной работы, планах сотрудничества читайте на стр. 16

СОДЕРЖАНИЕ

Выступление Касым-Жомарта Токаева на заседании Национального совета по науке и технологиям при Президенте Республики Казахстан 4

АТОМ И ОБЩЕСТВО

Казахстан-Япония: 30 лет успешного сотрудничества. Поздравления..... 16

Казахстанско-японское сотрудничество по исследованию проблем тяжелых аварий на АЭС. Начало пути..... 18

Проект EAGLE. Многолетнее сотрудничество..... 28

Создание стендового комплекса EAGLE 38

Проект CORMIT. Обеспечение безопасной эксплуатации ядерных реакторов..... 42

Проект Fukushima Debris 48

В сотрудничестве с Японской атомно-энергетической компанией (JAEC) 55

Казахстанско-японское сотрудничество в области подготовки кадров по реакторным технологиям 60

Международный научно-технический семинар..... 68

ХРОНИКА СОБЫТИЙ 70

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ

Как японский ученый описал структуру атома 84



Выступление Касым-Жомарта Токаева
на заседании Национального
совета по науке и технологиям при
Президенте Республики Казахстан

Уважаемые члены Совета!

Поздравляю вас с Днем науки! Через вас хочу передать самые теплые пожелания всем ученым Казахстана. Сегодня поистине знаменательная дата – день рождения выдающейся личности и великого ученого Каныша Сатпаева. В этот день отмечается 125-летний юбилей академика. Великий Абай является путеводной звездой духовной жизни казахов. Ахмет Байтурсынов – учитель нации. А Каныша Сатпаева можно смело назвать отцом современной казахской науки.

Несомненно, Каныш Имантаевич Сатпаев является ярким представителем нашего народа. Его научные открытия и по сей день служат во благо нашего государства. Нам нужно отметить юбилей знаменитого ученого на самом высоком уровне.

По моей инициативе будут проведены многочисленные мероприятия, которые, с одной стороны, призваны отдать дань памяти нашему академику, с другой стороны, будут способствовать формированию культуры знаний в стране. Самое главное, нам необходимо продолжить большое дело, начатое Канышем Сатпаевым.

Мы говорим «наука» и, прежде всего, имеем в виду великого ученого Каныша Сатпаева. И это закономерно. Неслучайно Национальная академия наук Казахстана, восстановившая свой государственный статус, прочно ассоциируется с именем Каныша Сатпаева, которым гордится не только наша страна, но и вся мировая научная общественность.

Уважаемые ученые и участники заседания!

Прежде всего хотел бы остановиться на текущей ситуации в стране. Как вам известно, ряд регионов страны серьезно пострадал от сильнейших наводнений, равных которых не было более 80 лет. Затоплены многие населенные пункты. В целом, обстановка очень сложная.

Сейчас Правительством в оперативном порядке принимаются все необходимые меры. Я дал соответствующие поручения. Ситуация с паводками находится на контроле. От стихийных бедствий страдают и другие страны. По всему миру происходят землетрясения, пожары и наводнения. Одним словом, глобальные климатические изменения привели к росту числа природных катаклизмов.

В 1980-1985 годах в мире было зафиксировано около 1700 катастроф, а в 2010-2015 годах их количество превысило 3700. Таким образом, за столь короткое время число стихийных бедствий выросло вдвое, и почти половина из них связаны с водой. Безусловно, это представляет серьезную угрозу для всего человечества. Поэтому сегодня крайне актуальной задачей являются предупреждение подобных чрезвычайных ситуаций и обеспечение безопасности населения. Од-

ним из механизмов реализации этой задачи должна стать наука.

Во время нынешних паводков мы особенно остро ощутили нехватку квалифицированных специалистов и ученых в стране. Я неоднократно подчеркивал важность развития отечественной науки. Понятно, что это невозможно сделать за день или даже за год. Для этого потребуются годы долгого и упорного труда.

К сожалению, приходится констатировать, что развитию науки в нашей стране на протяжении десятилетий не уделяли должного внимания. Мы утратили прежний научный потенциал и инфраструктуру. В трудные 90-е годы из науки ушло 40 тысяч ученых. Конечно, многие институты смогли выжить, но наука понесла большие потери на системном уровне. Сегодня мы вынуждены пожинать последствия этого. Поэтому крайне важно восстановить научный потенциал нашей страны.

Возвращаясь к проблеме паводков, хочу подчеркнуть, что сейчас перед нами стоят очень сложные и масштабные задачи. Мы должны оказать всю необходимую поддержку людям, пострадавшим в результате стихии. Это работа потребует больших затрат. Но мы полностью выполним все свои обязательства перед народом. Это наш долг. Для меня это самая важная и первоочередная задача.

Наша общая задача – сделать Казахстан процветающей страной. Только что мы выслушали ряд ученых. Все ваши инициативы и предложения будут тщательно изучены и учтены в дальнейшей работе.

Сегодня в мире на лидирующие позиции вышли страны, опирающиеся на научный прогресс. Нам нужно войти в число таких стран. Поэтому развитие науки должно быть безусловным приоритетом.

Слова нашего учителя Ахмета Байтурсынова «Озғандарға жету керек, жеткендерден озу керек» и по сей день не теряют своей актуальности.

В последние годы создаются все условия для развития отечественной науки. Национальной академии наук присвоен государственный статус. Создан Национальный совет по науке и технологиям при Президенте.

В прошлом году было принято решение о выделении 625 млрд тенге на развитие науки в течение трех лет. В дальнейшем государство продолжит планомерно увеличивать бюджет науки.

На сегодняшний день заработная плата ученых выросла в два раза. Выделяются значительные средства для формирования современной научно-исследовательской инфраструктуры. Увеличивается количество образовательных грантов на обучение по программам докторантуры. Большое внимание уделяется организации стажировок наших ученых в ведущих научных центрах мира. Усилена поддержка молодых исследо-



вателей, в результате чего заметно выросла доля молодежи в науке.

В регионах открываются филиалы ведущих зарубежных университетов. Однако не стоит ограничиваться этими мерами. Чтобы обеспечить поступательный прогресс страны, важно быстро адаптироваться к изменениям и постоянно искать новые точки роста. Это стратегическая задача, в реализации которой особая миссия возлагается на наших ученых, экспертов, новаторов в области экономики.

Поэтому мы будем последовательно укреплять потенциал отечественной науки, создавать условия для широкого внедрения инноваций во всех сферах жизни. Для этого предстоит решить ряд актуальных задач.

Первое. Важно максимально задействовать возможности науки в прогнозировании техногенных и природных катаклизмов, борьбе с изменением климата.

Наука не может существовать в отрыве от насущных вопросов развития государства. Она должна служить обществу и стране, а значит, носить не абстрактный, а прикладной характер, приносить пользу в повседневной жизни. Сама жизнь подтверждает, что отсутствие научного подхода чревато тяжелыми негативными последствиями.

Масштабные паводки, лесные пожары и землетрясения в Алматы показали острую необходимость в качественном научном прогнозе, оценке вероятности и силы воздействия разного рода чрезвычайных ситуаций. Приходится констатировать, что в сфере предупреждения чрезвычайных ситуаций за многие годы накопился ряд системных проблем. В первую очередь, это нехватка квалифицированных кадров и отсутствие должного научного сопровождения. Ситуация требует кардинального изменения подходов к работе.

Принято решение о восстановлении гидромелиоративно-строительного института в Таразе с соответствующим материально-техническим обеспечением. В плачевном положении находится Институт сейсмологии. Я поручил Правительству внести конкретные предложения по повышению научного потенциала института, а также по развитию сейсмологии и инструментов наблюдения за сейсмическим режимом.

По моему поручению на территории Алматы будет проведено специальное сейсмологическое исследование. Акимат выделит средства на проведение трехлетних научно-исследовательских работ. Перед нами также стоят задачи прогнозирования и предупреждения энергетических сбоев, эпидемий, засух. Профильным министерствам и акиматам следует пересмотреть программы развития отраслей и регионов с учетом возможных рисков возникновения чрезвычайных си-

туаций. В эту работу нужно вовлечь научное сообщество, экспертов в области гидрологии, климатологии, географии, инженерии и так далее.

Еще раз повторю, госорганы должны везде опираться на качественное научное сопровождение. Это крайне важная задача. Решения должны тщательно прорабатываться, обосновываться и только потом приниматься. Поэтому ученые, исследовательские центры страны должны обладать всем необходимым инструментарием для анализа и прогнозирования ситуации.

Как я уже сказал, в последние годы в мире фиксируется значительный рост числа природных и техногенных катастроф. Непосредственное влияние на ситуацию оказывают климатические изменения, провоцируемые индустриализацией и урбанизацией. По некоторым оценкам, уже в ближайшие пять лет эта тенденция может привести к тому, что мировая экономика потеряет около пяти триллионов долларов. Поэтому вопросы охраны окружающей среды для нас имеют приоритетное значение.

Огромный вклад в изучение климатических изменений вносит Региональный гляциологический центр, созданный в 2020 году в Алматы решением ЮНЕСКО. Наши ученые не только исследуют таяние ледников, но и ищут пути снижения уязвимости к селявым потокам, прорывам ледниковых озер.

Необходимо в полной мере использовать потенциал Гляциологического центра. Задача обеспечения центра зданием Правительством решается. Теперь особого внимания требует вопрос продления соглашения между Правительством Казахстана и ЮНЕСКО о деятельности Гляциологического центра, которое заканчивается в этом году.

В 2026 году в Казахстане будет проведен Региональный климатический саммит под эгидой ООН. Это важное мероприятие даст нам хорошую возможность обратить внимание международного сообщества на проблемы таяния ледников, обмеления рек и озер, опустынивания, деградации земель. Нужно уже сейчас начать подготовку к саммиту, который, уверен, будет способствовать консолидации усилий ученых, экспертов, политиков для поиска ответов на региональные и глобальные экологические вызовы.

Второе. Наука должна способствовать поступательному развитию экономики.

Несмотря на принимаемые меры по индустриализации национальной экономики, ее сырьевой характер пока существенно не изменился. Перед Правительством стоит задача построения новой модели экономики, ядром которой должны стать устойчивые цепочки добавленной стоимости. Большой потенциал в этом направлении имеется в нефтесервисной и нефтехимической отраслях (производство пластика, углеродных нанотрубок, карбонового волокна, графена).

На первом заседании Совета мною поручалось Правительству реализовать комплекс мер по переходу на открытую прикладную модель науки с концентрацией ресурсов исследовательских институтов и университетов. Нужно, чтобы научные проекты отвечали не только академическим запросам, но и учитывали стратегические цели развития страны и потребности экономики. Для этого на основе лучшего международного опыта следует определить четкие приоритеты исследований.

Особое значение имеет коммерциализация научных разработок. К примеру, исследования ученых можно задействовать для снижения издержек в сфере жилищно-коммунального хозяйства и внедрения ресурсосберегающих технологий, а также в ремонте и строительстве дорог с учетом особенностей нашего климата. Активное развитие должна получить «наука простых вещей». Для этого необходимо выстроить эффективные механизмы взаимодействия научного общества и бизнеса.

При акиматах предстоит сформировать научные советы, которые будут способствовать решению задач в этом направлении. В процесс широкого внедрения результатов научных исследований должны быть вовлечены крупные предприятия во всех регионах страны.

Я ознакомился с рядом проектов, которые показывают реальный вклад наших ученых в повышение уровня передела продукции. Нужно масштабировать такой успешный опыт с участием всех крупных производственных компаний. Правительству следует продолжить стимулирование бизнеса посредством предоставления налоговых льгот и инвестиционных преференций за затраты на науку.

Серьезные задачи перед отечественной наукой стоят в свете необходимости декарбонизации экономики Казахстана. Многие развитые страны активно реализуют проекты по возобновляемым источникам энергии и уже располагают соответствующим технологическим потенциалом для перехода к безуглеродному развитию и созданию новых экономических кластеров. Чтобы не отстать от глобальных тенденций в этой сфере, нам требуются собственные научные разработки, учитывающие нашу специфику.

При этом нельзя забывать, что богатство наших недр по-прежнему остается одной из основ экономического роста страны. Поэтому надо внедрять передовые технологии в сферу добычи природных ресурсов, в том числе углеводородов и редкоземельных металлов. Редкоземельные металлы – это фактически вторая нефть. Мы должны очень рационально использовать этот потенциал. Вокруг редкоземельных металлов, как вы видите, разворачиваются геополитические маневры. И здесь роль государства, как, впрочем, и роль науки, очень важна.

Нужно повышать результативность поисково-разведочных работ и открывать новые месторождения. Для этого требуются качественные сдвиги в развитии геологической науки.

В целом, вся отечественная наука должна быть ориентирована на эффективное использование наших конкурентных преимуществ и широкое освоение новых наукоемких секторов.

Третье. Необходимо обеспечить ускоренное развитие искусственного интеллекта.

Научно-технический прогресс стремительно меняет облик глобальной экономики и образ жизни людей. Технологии, которые еще вчера казались фантастикой, сегодня становятся реальностью. В этих условиях нам важно использовать все возможности для укрепления технологического и научно-инновационного суверенитета страны.

Широкие перспективы открывает развитие искусственного интеллекта. По некоторым оценкам, к 2030 году искусственный интеллект обеспечит 7% мирового ВВП. А к 2027 году капитализация глобального рынка искусственного интеллекта существенно превысит 400 миллиардов долларов.

Во всем мире искусственный интеллект все больше заменяет человеческий труд, причем даже в таких сложных областях, как медицинская диагностика и юридические консультации. Не говоря уже о том, что нейросети вовсю пишут картины, музыку, стихи.

В нашей стране искусственный интеллект успешно применяется в таких сферах, как безопасность, медицина, банковские услуги, логистика, образование. Появляются сильные компании, занимающиеся внедрением этих технологий. Вместе с тем для успешного развития индустрии необходима комплексная поддержка государства. Нам нужно создать экосистему, обеспечивающую общий доступ к данным и технологической инфраструктуре.

Также требуются соответствующие институты, фокус которых ориентирован на развитие искусственного интеллекта. Правительством сейчас разрабатываются Стратегия развития искусственного интеллекта и Цифровой кодекс.

Документы призваны стимулировать исследования и практическое применение разработок в этой области, предоставить бизнесу и вузам доступ к технологической инфраструктуре и базам данных. Важно, чтобы развитие искусственного интеллекта шло в созидательном русле. Поэтому отдельное внимание следует уделить установлению этических стандартов, защите данных и предотвращению киберугроз в данной сфере.

Вопросы регулирования искусственного интеллекта сегодня все чаще обсуждаются на национальном и глобальном уровнях. К примеру, соответствующий закон,

недавно был принят в Евросоюзе (Artificial Intelligence Act).

Цифровая эпоха способствовала появлению нового актива – данных, которые выступают основным сырьем для искусственного интеллекта и машинного обучения. Поэтому предстоит активно заняться интеграцией баз данных государственных органов и различных подведомственных организаций.

Для решения сложных научных задач и реализации прикладных проектов также надо в полной мере задействовать возможности суперкомпьютера, который в скором времени будет создан и запущен в нашей стране.

Создание суверенных языковых моделей – одно из перспективных направлений в области искусственного интеллекта. На базе консорциума из восьми научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений сейчас ведется разработка казахской языковой модели. Это начинание не только имеет огромное значение для обеспечения нашего цифрового суверенитета, но и придаст мощный импульс развитию государственного языка.

Как вы знаете, существует дефицит специалистов в области искусственного интеллекта. Эту проблему необходимо решить как можно скорее. Определенная работа в этом направлении уже ведется. В ряде отечественных вузов внедрены соответствующие курсы от международных технологических гигантов Google и Huawei. Достигнуты договоренности с ведущими вузами Кореи и Китая по трансферу знаний и совместной подготовке специалистов. Нам нужно, чтобы подрастающее поколение свободно ориентировалось во всех новых цифровых технологиях. Для этого надо пересмотреть содержание образовательных программ средней школы и вузов с упором на широкое изучение возможностей искусственного интеллекта.

В целом, комплексное развитие сферы искусственного интеллекта должно быть отдельным приоритетом Правительства. В этой работе целесообразно использовать потенциал членов Национального совета. Поручаю утвердить предложенный состав экспертной рабочей группы при Нацсовете, которая будет содействовать решению актуальных проблем индустрии искусственного интеллекта.

Четвертое. Особое внимание необходимо уделить развитию университетской науки и научной инфраструктуры.

Успешные реформы в сфере науки и среднего образования, предпринятые в последние годы, привели к оттоку кадров из системы высшего образования. Квалифицированные преподаватели, имеющие ученые степени, стали переходить в школы и научные организации с более высокой зарплатой.

Сегодня среди профессоров и преподавателей университета доля специалистов, имеющих ученую степень, составляет чуть более 40 %. Эти тенденции не могут не сказаться на качестве подготовки не только магистрантов и докторантов, но и бакалавров. Поручаю профильному министерству принять конкретные меры.

В целом, дефицит кадров в университетах отрицательно влияет на уровень научных исследований. Уровень цитирования трудов ученых вузов крайне низок, не превышает и одного балла из ста возможных.

О системных проблемах университетской науки свидетельствуют и низкие показатели в авторитетных международных рейтингах. Нужно безотлагательно принять комплексные меры для исправления ситуации.

Слабой стороной наших вузов является низкое качество научных исследований. Отдельные учебные заведения не имеют постоянных связей с производственными предприятиями, есть даже вузы, у которых такие связи и вовсе отсутствуют. Большинство из них применяют неэффективные и устаревшие подходы в работе.

В целом, университеты и научные организации должны стать стратегическим центром, вносящим значительный вклад в социально-экономическое развитие страны. Поэтому поручаю Правительству разработать специальную программу.

Необходимо расширить сферу применения понятия «грант» в Бюджетном кодексе. Средства на приобретение необходимого для научных исследований

оборудования и развитие его инфраструктуры должны выделяться беспрепятственно.

Развитие высшего образования в стране сдерживает и ветхая инфраструктура. Здания государственных вузов устарели. Большинство из них были построены более полувека назад, а самый новый из них, Актюбинский государственный университет, был возведен в 1982 году. В этой связи по моему поручению будут построены новые кампусы для Казахского национального университета им. аль-Фараби и Евразийского национального университета им. Л. Гумилева.

Необходимо модернизировать материально-техническую базу и других вузов. Нужно последовательно привести в надлежащее состояние все устаревшие лаборатории университетов и исследовательских центров.

У нас есть хорошие наработки в медицинской науке. Яркий пример: уникальный противоопухолевый препарат, который сегодня представил наш ученый Дос Сарбасов. Подобные проекты нужно всячески поддерживать.

Считаю, что следует учесть предложение ученого Сарбасова по формированию в Казахстане хаба клинических исследований. Я прошу министерство изучить этот вопрос.

Существует серьезный региональный дисбаланс в распределении вузов: большинство сильных универси-



тетов расположены в Астане и Алматы. Это приводит к перекошенной внутренней миграции и кадровому дефициту в регионах.

Для обеспечения целостного развития науки и высшего образования ранее мною было поручено создать Центры академического превосходства на базе 15 региональных и 5 педагогических вузов. Правительству нужно развивать исследовательскую компоненту вузов и через программно-целевое финансирование поэтапно реализовать данный проект. Подобные центры успешно функционируют во многих странах, в которых научные инновации и экспорт образовательных услуг занимают весомую долю в структуре экономики.

Опыт развитых государств показывает, что научный потенциал региональных университетов способны усилить молодые ученые – они мобильны и открыты к переменам. Необходимы действенные механизмы, которые будут стимулировать их трудиться и проводить исследования в региональных вузах. В целом, Правительству следует принять все необходимые меры для поддержки и развития научных центров и институтов по всей стране.

Пятое. Укрепление кадрового потенциала науки является крайне актуальной задачей.

Необходимо также усилить подготовку специалистов для приоритетных отраслей экономики. Несомненно, в основе научного прогресса лежит кропотливый исследовательский труд ученых. Любой успех в первую очередь зависит от людей, от так называемого человеческого капитала. Поэтому необходимо оказывать всестороннюю поддержку молодым ученым.

Треть проектов, финансируемых по грантам, выделяется молодым ученым. Конечно, качество таких проектов важнее количества. Необходимо увеличить ежегодное финансирование грантов, выделяемых на конкурсной основе молодым ученым. Теперь наши молодые ученые могут проходить стажировку в ведущих исследовательских центрах мира. Это хорошая тенденция, которую необходимо продолжать.

Программа «Жас ғалым», реализуемая по моему поручению, показывает свою эффективность. Считаю, что список ее потенциальных участников нужно расширить, включив туда молодых ученых из научных институтов и организаций.



Кроме того, надо предоставить возможность нашим ученым проходить стажировку за рубежом по программам постдокторантуры. При этом важно, чтобы они были обеспечены достойной стипендией и могли полноценно сфокусироваться на исследованиях.

Вместе с тем среди выпускников программы зарубежных стажировок на докторантов приходится только 1,6%. Это очень низкий показатель. Правительству нужно проработать конкретные меры для устранения этого дисбаланса.

Остается низкой и доля докторантов среди всех обучающихся в наших вузах. В прошлом году мною было поручено довести набор в докторантуру до 5 тысяч человек ежегодно. Реализация этой задачи требует новых подходов.

Подготовкой PhD должны заниматься учебные заведения, обладающие большим научным потенциалом и способные проводить глубокие исследования. Правительству необходимо поднять стоимость грантов в магистратуру и докторантуру. Очень важный вопрос – отбор, подготовка квалифицированных кадров и создание условий для того, чтобы они оставались в сфере науки. Увеличивая количество грантов, повышая их стоимость, необходимо уделять этому вопросу особое внимание.

В прошлом году только 38% из более чем 1500 докторантов защитили диссертацию. Лишь около половины из них продолжают заниматься наукой. Это очень низкие показатели, особенно если учитывать, что на подготовку докторов наук были потрачены огромные средства. Поручаю детально изучить этот вопрос и принять необходимые меры для исправления ситуации.

Следует проработать и внедрить механизм подготовки «индустриального PhD» совместно с крупными производственными компаниями. Научные исследования в связке с опытно-конструкторскими работами будут способствовать внедрению новаторских решений в производство. В целом, ведущие вузы страны и филиалы зарубежных университетов должны оперативно готовить ученых и квалифицированных специалистов для приоритетных отраслей нашей экономики. К примеру, стремительно растет потребность в кадрах в сферах «зеленой» энергетики, изменения климата, сбережения водных ресурсов.

Особую актуальность имеет подготовка специалистов для отечественной промышленности. Поручаю Министерству науки и высшего образования разработать национальную модель подготовки инженерно-технических кадров с учетом международных стандартов и опыта.

Вместе с тем надо создать передовые инженерные школы на базе региональных вузов. Образовательные программы и технологические проекты этих школ должны быть ориентированы на потребности

приоритетных отраслей промышленности. Хорошие результаты показывает проект «Моя профессия – мое будущее», который содействует синхронизации сферы образования и рынка труда. В рамках проекта создаются Атласы профессий, изучается структура экономики и тенденции развития каждого региона.

В перспективе необходимо проработать вопрос создания Атласа региональной экономики, отражающей специализацию каждого региона. Все это позволит своевременно актуализировать образовательные программы. Ключевая задача – превратить региональные вузы в центры опережающей подготовки кадров и прикладных научно-исследовательских работ.

Сегодня на заседании прозвучало мнение о том, что важно возвращать в Казахстан наших ученых, которые успешно работают в зарубежных научных центрах. Поддерживаю это предложение и приглашаю наших соотечественников продолжить свои исследования в Казахстане. Со своей стороны государство будет точно поддерживать таких ученых в организационном и финансовом планах.

В то же время такие призывы в адрес ученых, работающих за рубежом, звучат не впервые. К этому вопросу нужно подходить вдумчиво, ура-патриотизм здесь не уместен, поскольку наука стала глобальной по своему масштабу и характеру. Тем не менее Казахстан должен включиться в глобальное соревнование за лучшие умы.

Высокообразованные люди, востребованные ученые часто эмигрируют в другие государства в поисках хорошего заработка, лучших условий для исследований или просто нового опыта. Приток сильных ученых дает импульс развитию страны и позволяет существенно улучшить качество человеческого капитала. Это наглядно показывает мировой опыт.

Следует детально изучить международный опыт и рассмотреть все возможности для привлечения квалифицированных зарубежных специалистов и ученых. С этой целью надо создать благоприятную среду для плодотворной деятельности у нас в стране. В целом, убежден, что созидательное партнерство государства, научного сообщества и бизнеса станет ключом к успеху отечественной науки.

Уважаемые участники заседания!

Развитие науки – стратегически важный приоритет для нашей страны. Особенно важно создавать условия для того, чтобы талантливая и способная молодежь занималась наукой.

Созидание, инновации, знание и преданность науке – главные качества, которые нужны действительно передовой стране. Я специально остановился на этом вопросе на заседании Национального курултая в Атырау. Необходимо прилагать все усилия для всестороннего продвижения науки. Интерес к науке следует



пробуждать со школы. Мы должны направить все наши силы на пропаганду знаний и науки. При необходимости нужно подготовить специальный документ. Поручаю министру науки и высшего образования заняться этим вопросом.

В настоящее время в Парламенте обсуждается законопроект «О науке и технологической политике». Надеюсь, что этот документ придаст мощный импульс развитию науки. В целом, образование и наука нуждаются в передовом международном опыте.

У вас есть опыт работы в лучших научных центрах мира. Не зря в свое время выдающиеся представители нашего народа занимались просветительской деятельностью.

Сейчас наступило время молодых ученых. Ваши проекты и изобретения должны приносить пользу всей стране. Одним словом, такие ученые, как вы, должны идти в авангарде научно-технического развития нашей Родины. Там, где сильна наука, и государство будет сильным. Без науки страна обречена.

А страна с передовой наукой сможет преодолеть любой кризис. Когда процветает наука, процветает и экономика, повышается благосостояние народа.

В конце концов, благодаря науке мы сможем повысить качество жизни граждан и обеспечить им светлое будущее. Только достигнув этой цели, мы воплотим в жизнь триаду «Справедливый Казахстан – Ответственный гражданин – Прогрессивная нация». Я верю, что государство и научное сообщество будут активно проводить эту работу.

Хочу прямо сказать: в стране немало насущных проблем. Сегодня мы сталкиваемся с последствиями недостатков, которые накапливались в различных областях на протяжении многих лет.

Однако впереди нас ждет только один путь – мы непременно должны решить эти проблемы. Это требование времени, это требование народа. Думаю, если мы будем работать системно, все встанет на свои места. Плоды тех действий, которые мы предпринимаем сейчас, завтра увидит подрастающее поколение. Поэтому



на нас лежит огромная ответственность. Мы все должны добросовестно трудиться.

Наш народ преодолел не менее сложные времена. Все удалось преодолеть благодаря крепкому единству. В такой ответственный момент также ярко проявляется незыблемая солидарность нашего народа. Мы все преодолеем.

Как говорится, «нет худа без добра». В такие времена закаляются единство страны и профессионализм специалистов. Сейчас тысячи государственных служащих трудятся днем и ночью вместе со спасателями и волонтерами. Они борются со стихией, спасают людей и устраняют последствия наводнения. Подлинный патриотизм каждого гражданина проявляется в реальной жизни. Служение народу – это долг. А верное служение своей стране в трудные времена – это священный долг.

Как известно, в последние годы наша страна переживает немало трудностей. Государственный аппарат столкнулся с трудностями и накопил большой опыт.

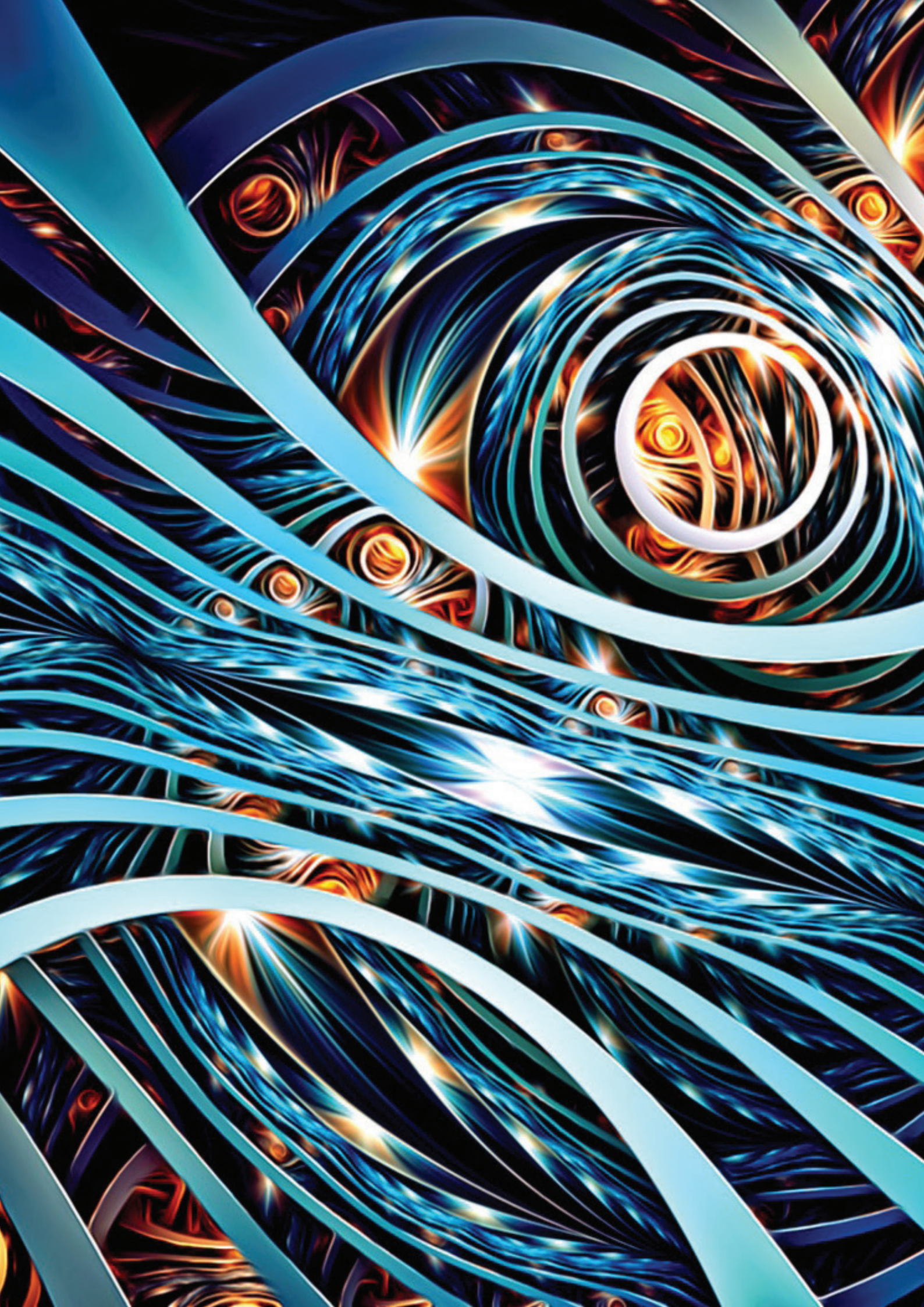
Он стал сильнее. Жизненные уроки, которые прошли современные госслужащие, не уступают, а может и превосходят опыт девяностых годов. Я выражаю благодарность государственным служащим, спасателям и волонтерам, которые борются с наводнениями.

Я также признателен всему нашему народу, который сохраняет непоколебимое единство, проявляет взаимное сочувствие, терпение и толерантность в такой сложной ситуации. Мы обязательно преодолеем нынешние трудности. Со стороны государства будут предприняты все необходимые меры.

Ликвидация последствий аварии – это только один из этапов работы. Самое главное – в регионах, где произошло бедствие, начнутся ремонтно-восстановительные работы. Это очень важная задача. Впереди нас ждет большая работа.

Пусть в нашей стране всегда царят мир и согласие!
На этом заседании завершено.

Спасибо!





**АТОМ
И ОБЩЕСТВО**

Казахстан-Япония: 30 лет



Уважаемые коллеги!

Поздравляю коллектив Национального ядерного центра Республики Казахстан и ведущие организации, институты и компании Японии с 30-летием сотрудничества в области мирного использования атомной энергии!

Для нашей страны наработка новых компетенций и развитие сотрудничества с ведущими мировыми компаниями в такой наукоемкой и высокотехнологичной сфере как атомная энергетика обеспечивают условия для устойчивого расширения научных знаний и создания новых точек роста экономики.

За прошедшие тридцать лет в сотрудничестве с японскими специалистами на экспериментальной базе Национального ядерного центра Республики Казахстан были успешно выполнены сложные экспериментальные исследования для повышения безопасности действующих и проектируемых реакторных установок, развития усовершенствованных реакторных технологий, проведен большой массив исследований в поддержку изучения вопроса строительства атомной электростанции в Казахстане.

Важный вопрос – сотрудничество в области подготовки кадров для атомной отрасли, которому все эти годы уделяется большое внимание. Совместно с японскими организациями реализуются образовательные программы, организованы стажировки, семинары и тренинги.

Считаю, что многолетний успешный опыт решения сложных задач в сфере мирного использования атомной энергии говорит о том, что сотрудничество между Национальным ядерным центром Республики Казахстан и организациями атомной отрасли Японии будет развиваться и наши совместные исследования продолжают вносить значимый вклад в решение вопросов безопасности атомной энергетики!

*Алмасадам Майданович Саткалиев,
Министр энергетики Республики Казахстан*

УСПЕШНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА



В этом году мы отмечаем важную дату – 30 лет успешного сотрудничества с организациями Японии.

За эти годы реализованы масштабные проекты COTELS, EAGLE, Fukushima Debris, CORMIT и многие другие, которые стали значимым вкладом в решение вопросов безопасности атомной энергетики.

Так, с середины 1990-х годов на базе РГП НЯЦ РК в сотрудничестве с японским агентством по атомной энергии проведено внушительное количество реакторных и вне реакторных экспериментов по исследованию процессов, сопровождающих тяжелую аварию перспективного ядерного реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем - проект EAGLE. Изучены закономерности расплавления, контролируемого перемещения расплава активной зоны реактора, его взаимодействия с элементами конструкционных материалов и теплоносителем.

На нереакторных установках реализован совместный с японскими коллегами проект CORMIT, направленный на исследование взаимодействия между расплавом активной зоны аварийного реактора и материалами, предполагаемыми к использованию в аварийной ловушке расплава, что позволит существенно повысить безопасность атомных станций.

В поддержку решения проблем последствий аварии на японской АЭС «Фукусима» в рамках одноименного совместного проекта специалистами РГП НЯЦ РК выполнены исследования по моделированию расплава активной зоны реакторов этой АЭС и изучению его свойств. Результаты проведенных работ позволили выработать требования к технологии и оборудованию, которые будут использоваться при извлечении и последующем обращении с топливом аварийных реакторов.

Активно работаем по продвижению проектов в рамках Форума по ядерной кооперации в Азии, который является многолетней действенной площадкой для обмена опытом, совместного развития ядерных технологий, организованной по инициативе и при поддержке японских коллег.

Сегодня мы продолжаем наше успешное сотрудничество, обсуждаем перспективы совместных исследований на экспериментальной базе РГП НЯЦ РК.

Хочу поблагодарить наших японских коллег за плодотворное сотрудничество, коллектив РГП НЯЦ РК за высокий профессионализм. За эти годы произошло много интересного и запоминающегося, но, самое главное, мы сохранили теплоту наших отношений, стали настоящими друзьями. Сегодня можно с уверенностью сказать, что впереди у нас еще немало успешных проектов и теплых встреч!



Эрлан Гадлетович Батырбеков,
генеральный директор Национального ядерного центра
Республики Казахстан

КАЗАХСТАНСКО-ЯПОНСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОБЛЕМ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ НА АЭС. НАЧАЛО ПУТИ



В 2024 году исполняется 30 лет сотрудничеству между НЯЦ РК и организациями, институтами и компаниями Японии в области мирного использования атомной энергии и ядерных технологий. Это сотрудничество, начавшееся с моделирования процессов, характерных для тяжелой аварии АЭС (типа LOCA) с реакторами PWR, охватило за прошедший период широкий спектр исследований в области атомной энергетики, включая эксперименты в обоснование безопасности АЭС с энергетическими реакторами на быстрых нейтронах, проведение экспериментов в обоснование работоспособности технологий и устройств, локализирующих последствия аварийных процессов с плавлением топлива АЭС.

Необходимо отметить, что с начала 80-х годов, после завершения программы по созданию космических ядерных установок, основным направлением деятельности Объединенной экспедиции НПО «Луч» (ОЭ НПО «Луч», ныне Институт атомной энергии НЯЦ РК) стало проведение исследований по обоснованию безопасности объектов атомной энергетики, а также реконструкция и развитие экспериментальной базы. В частности, были подготовлены и проведены в реакторе ИГР исследования в обоснование теплотехнической надежности модельных твэлов ВВЭР, исследования по проблемам безопасности ядерных энергетических реакторов ИВВ-2М, БН-800, БРЕСТ-300, эксперименты, моделирующие процесс взаимодействия с водой расплава материалов активной зоны реактора ВВЭР.

Первые контакты между японскими и казахстанскими специалистами возникли на международных форумах в 1993 году, где наши специалисты докладывали о существующем в НЯЦ РК экспериментальном оборудовании и результатах проведенных исследований, послуживших основой для начала японско-казахстанского сотрудничества в атомной сфере.

В июне 1993 года в России в Нижнем Новгороде состоялась научно-техническая конференция Ядерного общества России «ЯЭ-93. Ядерная энергия и безопасность человека», где руководитель японской делегации профессор Фуджи-ё получил приглашение от Национального ядерного центра Республики Казахстан принять участие в международной конференции «Ядерная энергетика в Республике Казахстан: концепция развития, обоснованность, безопасность. ЯЭ-93».

На этой конференции, состоявшейся в сентябре 1993 года в Семипалатинске-21 (ныне г. Курчатов) на базе НЯЦ РК, были проведены переговоры сотрудников НЯЦ РК с профессором Фуджи-ё и группой прибывших вместе с ним

японских специалистов, в ходе которых ими была высказана заинтересованность в сотрудничестве с казахстанскими специалистами в области экспериментальных исследований процессов, сопровождающих тяжёлую аварию типа LOCA с плавлением активной зоны водо-водяного энергетического реактора АЭС.

Конференция предоставила возможность её участникам не только обсудить широкий круг проблем, связанных с перспективами развития и безопасности атомной энергетики, но и понять возможности атомного, научного и промышленного комплексов Республики, оставшихся на её территории после распада СССР. Представленный на конференции блок докладов и технических экскурсий, позволил нам ознакомить зарубежных специалистов с экспериментальной базой Института атомной энергии НЯЦ РК, вызвать у них интерес к проводимым в ИАЭ экспериментальным исследованиям по проблемам безопасности атомной энергетики.

В декабре 1993 года по приглашению профессора Фуджи-ё в Японию приехала первая группа казахстанских специалистов в составе: В.С. Школьник – генеральный директор Агентства по атомной энергии РК, Г.А. Батырбеков – первый генеральный директор НЯЦ РК, Т.Г. Школьник – представитель корпорации «КАТЭП» и Ю.С. Васильев – начальник отдела реакторных исследований ИАЭ НЯЦ РК.

Плотный график работы, составленный японскими коллегами, позволил нашей делегации успешно реализовать деловую часть поездки. Во время пребывания в Японии делегация посетила Токийский технологический институт (ТИТ), Nuclear Power Engineering Corporation (NUPEC), и Kansai Electric Power Company (KEPCO), где выступили с докладами: В.С. Школьник – о безъядерном статусе Казахстана (в декабре 1993 г. Казахстан подписал договор о нераспро-



– подготовка к докладу проф. Фуджи-ё



– доклад Ю.С. Васильева о результатах экспериментов, выполненных на реакторе ИГР

Рабочие моменты на конференции «Ядерная энергетика в Республике Казахстан: концепция развития, обоснованность, безопасность. ЯЭ-93»



– в аэропорту Нарита



– на приёме в ТИТ у проф. Фуджи-ё

Фото в день прилёта казахстанской группы в Японию

странении ядерного оружия (ДНЯО), а также о состоянии атомной промышленности в Республике; Г.А. Батырбеков – о структуре и направлениях деятельности НЯЦ РК; Ю.С. Васильев сделал краткий обзор исследований, проводимых ИАЭ НЯЦ РК в обоснование безопасности атомной энергетики. Генеральный директор Агентства по атомной энергии РК В.С. Школьник посетил министерства и ведомства Японии, где он встречался с представителями правительственных кругов Японии. Сделанные презентации и факт подписания ДНЯО в немалой степени способствовали успешному продвижению переговоров о нашем будущем сотрудничестве.

В рамках культурной программы визита наша делегация соприкоснулась с древней культурой Японии: посетила в выходные дни бывшие столицы Японии – города Нара и

Киото, где увидела буддийский храм (г. Нара); знаменитый Сад камней храма Рёан-дзи; золотой павильон Кинкаку-дзи (садовый домик для отдыха феодала); дворец генерала, ответственного за охрану императора (г. Киото). К сожалению, не удалось осмотреть Токио, но зато участники поездки побывали в Осака – городе современной японской архитектуры. Вечером удалось побродить по его наиболее оживленным кварталам, освещенным невообразимым количеством рекламных огней. К этому необходимо добавить яркие впечатления от современной жизни Японии, от уровня ее технического развития и традиционной японской кухни.



В.С. Школьник ведёт съёмку группы на фоне буддийского храма (г. Нара)



Памятное фото на фоне Золотого храма Кинкаку-дзи в Киото
(1 ряд справа – проф. Масаки Сайто с супругой, 2 ряд – казахстанская группа с переводчицами)



Прогулка по ночному Осака: слева направо – проф. Фуджи-ё, Ю.С. Васильев,
В.С. Школьник, сын проф. Фуджи-ё, Т.Г. Школьник, Г.А. Батырбеков

Во время этого визита были обсуждены с представителями NUPEC, TIT и Marubeni US, Ltd. цели и задачи планируемой программы экспериментальных исследований процессов, характерных для тяжёлой аварии АЭС с реакторами типа PWR, и возможность ее выполнения на экспериментальной базе НЯЦ РК. В итоге последующих переговоров, в сентябре 1994 года, были подписаны первое рамочное Соглашение между NUPEC и НЯЦ РК и первый годовой контракт с Marubeni US, Ltd. по планированию экспериментов по программе будущего проекта.

В рамках первого контракта предусматривались разработка и предварительное согласование типов и количества экспериментов и процедуры их проведения, определение облика и технических характеристик экспериментальных установок, обеспечивавших возможность проведения запланированных экспериментов.

Следует отметить, что у наших специалистов уже был некоторый опыт проведения подобных экспериментов, были созданы и испытаны экспериментальные устройства с печью для плавления реакторного топлива (диоксида урана) и стали, работающей по принципу прямого пропускания электрического тока через расплавляемые материалы с помощью погружных электродов. Однако, такой вариант конструкции плавильного устройства не обеспечивал возможность получения расплава материалов активной зоны реактора требуемых параметров и гарантированного слива его в экспериментальное устройство. Кроме того, имеющиеся экспериментальные устройства не позволяли удовлетворить требования к условиям проведения планируемых с японцами экспериментов и нуждались в существенной модернизации.

Необходимо отметить, что японские специалисты, заинтересовавшись нашими ранними исследованиями, стали активно подталкивать нас к совместной работе с целью получения экспериментальных данных по взаимодействию расплава материалов активной зоны PWR с водой, бетоном и днищем реактора. Но для проведения таких экспериментов им необходимо было обеспечить бюджетное финансирование, а у нас тогда не было отработанного оборудования под требуемые задачи планируемых исследований. «Пишите, что у вас всё есть для запуска программы. Поймите, ее надо обязательно начинать сегодня!» – настаивали японцы. Пришлось согласиться и написать, что мы проводим работы в этом направлении. И, пришлось браться за дело, засучив рукава. Удивительно, но в 1994 году мы спланировали эксперименты, а уже в 95-м изготовили индукционную электроплавильную печь (ЭПП) и первую установку СЛАВА. Когда программа, несмотря ни на что, была выполнена, японцы отметили, что несколько не сомневались в ее успехе.

Но вернемся к началу пути. В результате работ по первому контракту были определены объем и содержание исследований по проекту, получившему название COTELS (COolability TEst with LAVA SLAVA), а также принципиальные схемы и технические характеристики экспериментальных установок. Были запланированы три основные группы экспериментов по изучению процессов, сопровождающих тяжелые аварии с плавлением активной зоны водо-водяного энергетического реактора.

Проект COTELS стал первым проектом, реализованным в рамках казахстанско-японского сотрудничества. В рамках этого

проекта были выполнены три исследовательские программы по изучению процессов, сопровождающих тяжелую аварию энергетического реактора типа PWR с плавлением его активной зоны, включающие в себя:

- эксперименты по исследованию взаимодействия расплава материалов активной зоны (кориума) реактора с водой (FCI);
- эксперименты по исследованию взаимодействия кориума с водой и бетоном шахты реактора (MCCI), при условиях подачи охлаждающей воды на поверхность кориума (находящегося в бетонной ловушке) и имитации остаточного тепловыделения в топливе;
- эксперименты по исследованию взаимодействия кориума с материалом модели нижнего днища силового корпуса реактора (LHI).

Работы выполнялись в рамках соглашений между НЯЦ РК и NUPEC по ежегодным контрактам с Marubeni US, Ltd.

Для выполнения программы исследований было решено принципиально изменить конструкцию электроплавильной печи. Новая печь была сделана на основе индукционного нагрева графитового тигля с последующей передачей тепла от тигля к расплаву за счет теплопроводности (схема ЭПП с «горячим тиглем»). Слив полученного в тигле расплава (модели кориума) обеспечивался путем скалывания пробки, расположенной в донной части тигля. В конструкции ЭПП были использованы современные технологии и инновационные высокотемпературные материалы. Для обоснования выбора конструкции и обоснования работоспособности ЭПП были проведены несколько серий методических экспериментов по отработке режимов работы и материальной схемы печи (в том числе эксперименты на установке ВЧГ-135 по выбору защитного покрытия для графитового тигля, которое позволяло исключить или существенно ограничить взаимодействие графита с компонентами расплава).

В результате проведенных опытно-конструкторских работ в рамках проекта COTELS были разработаны экспериментальные установки СЛАВА, ЛАВА и ЛАВА-М с индукционной плавильной печью и принципиально новая установка ЛАВА-Б.

На установке СЛАВА были проведены натурные исследования и отработка режимов работы ЭПП; экспериментально определены параметры струи расплава модельного кориума (размеры, форма и время слива в ловушку). Интересно отметить, что для визуализации процесса вытекания струи расплава из тигля ЭПП и ее перемещения внутри экспериментального устройства были использованы высокоскоростные кинокамеры, которые ранее использовались для фиксации быстрых процессов при проведении ядерных испытаний.

Установка ЛАВА предназначалась для экспериментов по изучению процесса взаимодействия модели кориума с водой, включая явления, сопровождающие паровой взрыв. На этой установке проводились эксперименты по моделированию процессов, протекающих при попадании расплавленного кориума (вследствие проплавления силового корпуса реактора) в водный бассейн, находящийся внутри бетонного контейнента.

Установка ЛАВА-М обеспечивала проведение экспериментов по изучению взаимодействия расплава с бетоном. В эту установку могли устанавливаться бетонные ловушки различной

конфигурации, а также имелись возможности подачи воды на поверхность расплава для его охлаждения и имитации остаточного энерговыделения в расплаве. Для имитации энерговыделения использовался принцип непосредственного индукционного нагрева расплава, находящегося в бетонной ловушке (схема с «холодным тиглем»). В результате экспериментов на установке ЛАВА-М были получены данные о процессе деградации базальтового бетона при его контакте с расплавом материалов активной зоны и методах, позволяющих замедлить скорость разрушения бетона.

Следует отметить, что размеры экспериментальных установок ЛАВА, ЛАВА-М не обеспечивали проведение третьей группы экспериментов (LHI). В связи с этим в рамках программы COTELS была разработана и изготовлена новая универсальная экспериментальная установка ЛАВА-Б. Эта установка имела значительно больший внутренний объем и позволяла проводить эксперименты с различными экспериментальными устройствами приёма расплава (бетонными ловушками, моделями днища силового корпуса реактора), моделировать различные способы охлаждения расплава и остаточное тепловыделение в нем (как индукционным нагревом, так и прямым пропусканием электрического тока через расплав). На установке ЛАВА-Б была проведена последняя серия экспериментов проекта COTELS – эксперименты по изучению взаимодействия кориума с материалом модели нижнего днища реактора. Для получения расплава материалов активной зоны в установке ЛАВА-Б использовалась индукционная электроплавильная печь, аналогичная по конструкции ЭПП установок ЛАВА и ЛАВА-М.

Следует также отметить, что установка ЛАВА-Б была успешно использована для проведения экспериментов по другим казахстанско-японским исследовательским программам, последовавшим за проектом COTELS (в частности, по проектам IVR-AM и CORMIT).

Проект COTELS реализовывался с 1994 года по 2003 год. Он выполнялся по ежегодно возобновляемым контрактам между НЯЦ РК и компанией Marubeni US, Ltd., при этом основным заказчиком и собственником результатов экспериментальных исследований была компания NUPEC. В рамках проекта COTELS была создана серия экспериментальных установок и проведено 44 крупномасштабных эксперимента. Результаты

этих экспериментальных исследований подтвердили возможность управления тяжелой аварией на разных стадиях ее развития и были с большим интересом приняты мировой научной общественностью.

Для обсуждения планов и результатов работ по проекту COTELS на регулярной основе проводились совещания рабочих групп, в состав которых входили ведущие специалисты НЯЦ РК, NUPEC и Marubeni US, Ltd. Совещания рабочих групп проходили четыре раза в год (две встречи в НЯЦ РК в г. Курчатове и две встречи в Токио в офисе NUPEC).

В мае 1995 года состоялась первое совещание рабочей группы в Токио, на котором обсуждались результаты работ по планированию экспериментов по программе проекта COTELS. В работе этой группы приняли участие Ю.С. Васильев, А.А. Колдешников, И.Н. Ермилова (ИАЭ НЯЦ РК), руководитель проекта Hideo Nagasaka (NUPEC), Masaki Nakagawa (Marubeni US, Ltd.), научный консультант проекта проф. Masaki Saito (TIT) и др.

В последующих поездках в состав рабочих групп с нашей стороны вошли В.С. Жданов и В.А. Зуев, принимавшие активное участие в модернизации установок, в реализации экспериментов и послепусковых исследований, в обработке и анализе полученных результатов.

С японской стороны в разное время в поездках в Казахстан в составе рабочих групп принимали участие Hideo Nagasaka, Masami Kato, Ryoishi Hamazaki, Miura Satoshi, Isao Sakaki, Fukasawa Masanori (NUPEC), Masaki Nakagawa, Atsushi Fujioka, Kango Watanabe, Yumiko Sasaki, Masayuki Ikeda, Tadanori Tobita, Yusuke Nogiwa (Marubeni US, Ltd.) и другие.

В своей статье, опубликованной в журнале «Человек. Энергия. Атом» к 25-летию НЯЦ РК, руководитель проекта Хидео Нагасака отметил: «Благодаря техническим заседаниям, я отметил, что такие специалисты НЯЦ РК как Ю. Васильев, А. Колдешников, В. Жданов и В. Зуев обладают высокими техническими знаниями и заинтересованностью в области проводимых исследований, что способствовало взаимному доверию друг к другу. По моему мнению, именно обоюдное доверие привело к достижению высоких результатов в работе по проекту COTELS».



– на приеме у президента NUPEC Tsutomu Inoue



– после подписания протокола о принятии работ по этапу

Участники первой рабочей группы по проекту COTELS

Первые поездки в Японию оставили интересные и надолго сохранившиеся впечатления. Начиная с того, что только полет в Японию продолжался более 14 часов (4 часа до Москвы и не менее 10 часов от Москвы до Токио). А с учетом того, что перерыв между прилетом в Москву и вылетом в Токио был достаточно большим, путешествие из Казахстана в Японию занимало почти два дня. Но другого, более короткого пути в Японию в то время не существовало. В период проведения встреч рабочих групп по проекту COTELS делегация НЯЦ РК размещалась в токийском отеле "Atagoyama Tokyo Inn", который был расположен недалеко от офиса NUPEC.



– под сенью цветущей сакуры

В перерывах между дискуссиями по проблемам проекта (в основном во время обеда и ужина) мы знакомились с оригинальной японской кухней, которая произвела на нас неизгладимое впечатление. Очень понравилась архитектура Токио, в которой гармонично сочетались традиционные для Японии небольшие дома, древние и современные храмы и гигантские небоскребы. Наш отель находился недалеко от дворца японского императора – очень красивого архитектурного сооружения (в виде замка), окруженного прекрасным садом. Вообще в Токио много садов и парков, которые особенно красивы во время цветения сакуры.



– на водном трамвае в Токио

Участники рабочей группы по проекту COTELS



Проф. Фуджи-ё и члены японской делегации в казахской школе в селе Акжар



Помимо технических совещаний в рамках первых и последующих встреч рабочих групп проводились технические туры и посещения достопримечательностей Токио и его окрестностей. В первых поездках нас постоянно сопровождали сотрудники Marubeni US, Ltd.

Делегация НЯЦ РК посетила АЭС Kashivazaki-Kariwa (последние два энергоблока которой были построены по проектам с новейшими реакторами ABWR), где ознакомилась с техническими характеристиками, особенностями конструкции и организацией работ на этой станции.

Мы осмотрели древние японские храмы (Asakusa и Meiji) в Токио, токийский Диснейланд, токийскую телебашню (очень похожую на Эйфелеву башню), посетили термальные источники в горном районе Японии и горячие источники в городе Атами. Большое впечатление произвела на нас 13-метровая статуя Будды в городе Камакура, созданная почти 800 лет назад.

В свою очередь, сотрудники НЯЦ РК знакомили своих японских коллег с г. Курчатовым и его окрестностями, с культурой Казахстана, организовывали посещение музеев Семипалатинска. Мы проводили также «выездные»

совещания рабочей группы на реке Иртыш (с пикником и рыбалкой). Японских коллег, привыкших жить в многолюдных городах, особенно поражали бескрайние казахстанские просторы.

Наши японские друзья несколько раз посещали казахскую школу в селе Большой Акжар. Проф. Фуджи-ё любил смотреть выступления школьников, общаться с ними и педагогами, администрацией села и района, и каждый раз привозил с собой подарки для школы (компьютер, музыкальный центр и др.).



– Hideo Nagasaka и проф. Masaki Saito (сидят за столом) заняты интерпретацией первых результатов экспериментов

После успешного завершения работ по проекту COTELS были начаты работы по новому проекту IVR-AM, в рамках которого были продолжены эксперименты по исследованию взаимодействия кориумом с материалом модели нижнего днища реактора. В новых экспериментах моделировалось остаточное тепловыделение в кориуме с использованием трех погруженных в расплав электродов с плазменным разогревом и прямым пропусканием тока через расплав.



– памятное фото после оживленной дискуссии

Рабочие моменты седьмой технической встречи по проекту COTELS

Проект IVR-AM планировался на пять лет, но, к сожалению, из-за реорганизации NUPEC, выполнение проекта IVR-AM, несмотря на успешное развитие, было сокращено до трёх лет. Это произошло вследствие того, что NUPEC после реорганизации был наделён только функциями надзора за безопасностью атомной энергетики и потерял возможность проводить экспериментальные исследования (в 2003 году NUPEC был включен в «Japan Nuclear Energy Safety Organization» (JNES). JNES и «Nuclear and Industrial Safety Agency» (NISA) являются регуляторами в атомной энергетике Японии). Однако тесные контакты и дружественные отношения с японскими участниками работ по проектам COTELS и IVR-AM не прекратились.

В 2011 году по инициативе японской стороны были начаты предварительные переговоры с Isao Sakaki – сотрудником Toshiba Corporation, бывшим участником проекта COTELS, о возможности проведения новых экспериментальных исследований в НЯЦ РК. В результате последующих встреч и переговоров с более широким кругом представителей Toshiba, в 2012 году между НЯЦ РК и корпорацией Toshiba был заключен контракт на про-

ведение экспериментов в рамках нового проекта CORMIT, направленного на обоснование работоспособности технологий и устройств, локализирующих последствия аварийных процессов с плавлением топлива АЭС.

Сотрудничество НЯЦ РК с японскими организациями и компаниями не ограничивалось вышеперечисленными проектами. Был успешно реализован большой, начавшийся немного позднее проекта COTELS и продолжавшийся 29 лет проект EAGLE, предусматривавший проведение реакторных и вне реакторных экспериментов по исследованию проблем безопасности энергетических реакторов на быстрых нейтронах, проект МНТЦ по изучению рассеивания реакторного излучения в атмосфере, поддержанный японскими коллабораторами, и ряд других проектов. Но именно проект COTELS послужил отправной точкой для начала 30-летнего плодотворного сотрудничества специалистов НЯЦ РК и японских специалистов в области исследования проблем безопасности ядерной энергетики.

Юрий Васильев,
Александр Колодешников



– хор ИАЭ НЯЦ РК исполняет торжественную песнь проекту



– традиционное sake для участников Юбилея

Пятилетний Юбилей проекта COTELS



Участники рабочей группы по проекту COTELS после завершения обсуждений результатов выполненных экспериментов и подписания протокола встречи



Участники технического совещания по проекту CORMIT

Проект EAGLE. Многолетнее сотрудничество



Текущий 2024 год является знаменательным в хронологии многолетнего сотрудничества Национального ядерного центра Республики Казахстан с научными и промышленными компаниями Японии. За 30 лет совместной работы, начавшейся в далеком 1994 году, пройден громадный путь по совместной с японскими специалистами реализации множества проектов, связанных с подготовкой и проведением экспериментов в одной из самых ответственных и сложных областей знаний, относящейся к вопросам повышения безопасности атомной энергетики.

Начавшись с исследований проблем безопасности реакторов PWR/BWR, флот которых является подавляюще многочисленным как в мировой атомной энергетике, так и в энергетике Японии, уже в 1995 году сотрудничество японских и казахстанских специалистов было существенно расширено, когда в повестку дня были включены вопросы обоснования безопасности перспективных реакторов нового поколения – реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

О проектах серии EAGLE (“Experimental Acquisition of Generalized Logic to Eliminating Recriticalities”) сказано уже достаточно много. Тем не менее, повторимся, что основной целью экспериментальной программы, направленной на обоснование возможности предотвращения повторной критичности реактора на быстрых нейтронах, являлся поиск технических решений по предотвращению образования компактных бассейнов расплава топлива в объеме активной зоны в случае тяжелой аварии реактора, сопровождающейся масштабным плавлением топлива.

При этом отличительной особенностью проекта EAGLE являлось то, что изначально, на старте программы EAGLE-1 был сформулирован перечень задач, ограниченный современным на тот момент пониманием процессов, которые сопровождают развитие тяжелой аварии, а далее результаты экспериментов и выводы, сделанные в процессе их анализа, неизменно расширяли круг вопросов, на которые японские специалисты хотели бы получить ответы для поиска решений задачи управления тяжелой аварией во все более сложных условиях её поэтапного развития.

В результате проект EAGLE приобрел свойства самовоспроизводства, которые в течение почти 30 лет не только не позволяли остановить его, но даже не допускали мысли об этом. Более того, если в исходном варианте проект, тогда еще безымянный, был направлен на проведение только реакторных экспериментов, то программа EAGLE-1 уже предусматривала проведение экспериментов на вне реакторном стенде.

Идея поставить «точку» в проекте всегда рассматривалась только в отношении конкретных текущих программ EAGLE-1, EAGLE-2 и EAGLE-3 и никогда, по крайней мере, до сегодняшнего дня, в отношении всего проекта в целом.

Наши японские коллеги из JAEA задолго до окончания каждой очередной программы EAGLE начинали консультироваться со специалистами НЯЦ РК по вопросам подготовки и проведения новых экспериментов, направленных на получение расширенного и углубленного набора экспериментальных данных о процессах, происходящих на тех этапах развития тяжелой аварии, которые до этого не были в фокусе внимания. В некоторых случаях дискуссии о будущих экспериментах требовали углубленного изучения возможности их выполнения, что стало причиной подписания контракта PostEAGLE-2, в рамках которого были оценены перспективы выполнения экспериментов программы EAGLE-3 и сформулированы основные требования к будущим экспериментам.

К обоюдному удовлетворению JAEA и НЯЦ РК, ситуация обещает повториться и в 2024 году подписанием контракта PostEAGLE-3, а значит проект EAGLE получит дальнейшее развитие.

Длительное и плодотворное сотрудничество японских и казахстанских специалистов в рамках проекта EAGLE само по себе является ярким сви-

Проект EAGLE. Этапы реализации.

1995–2006 гг. Исследования возможности подготовки и реализация внутриреакторных экспериментов, в том числе, начиная с 1998 года, в рамках проекта EAGLE-1, экспериментальные исследования для подтверждения реализуемости концепции управляемого перемещения расплавленного топлива из активной зоны через внутреннюю трубу, установленную в ТВС, в нижний плenum быстрого реактора с натриевым теплоносителем (реакторные и вне реакторные эксперименты). После завершения проекта EAGLE-1 исследования в области безопасности при расплавлении активной зоны SFR значительно продвинулись вперед. Было показано, что расплавленное топливо может быть удалено из активной зоны сразу после начала плавления топлива путем установки канала внутри топливной сборки. Впервые в мире были получены данные, которые подтвердили, что проблема повторной критичности, одна из основных проблем при разработке реактора на быстрых нейтронах, может быть решена при помощи новых проектных решений. В ходе проведения внутри- и вне реакторных экспериментов по проекту EAGLE-1 была получена достаточная информация, что легло в основу создания базы данных. В результате, исследования по валидации компьютерного кода для анализа аварий с расплавлением активной зоны в SFR, который разрабатывается



20 лет сотрудничества, 2014 г.

детельством масштаба и глубины этой показательной кооперации ученых и специалистов двух стран. Тем не менее, не окунувшись в историю, нельзя увидеть всю палитру цветов и оттенков грандиозной картины этого взаимодействия, как нельзя в должной мере оценить те усилия, которые были приняты специалистами для выполнения этой работы.

Первые встречи казахстанских и японских специалистов, на которых обсуждалась возможность проведения на реакторе ИГР эксперимента по проверке концепции так называемого контролируемого перемещения топлива – **Controlled Material Relocation, CMR** – состоялись в 1994 году. В соответствии с информацией, которая была представлена в докладах японских специалистов, устройства для реализации контролируемого перемещения топлива предназначались для снижения последствий потенциально возможной аварии с повторной критичностью реактора на быстрых нейтронах, а в лучшем варианте их применения – для полного исключения возможности такой аварии, следствием которой при её наихудшем развитии прогнозировалось разрушение корпуса реактора. Значительно позднее, во второй половине программы EAGLE-2 и в начальной стадии программы EAGLE-3, когда концепция CMR была обоснована в экспериментах на стенде EAGLE и на реакторе ИГР, цели программы EAGLE были расширены. Специалисты JAEA сформулировали задачу получения экспериментальных данных в отношении процессов охлаждения материалов аварийной активной зоны (топлива, в первую очередь), оставшихся после частичного контролируемого удаления из нее расплава.

Но это было существенно позднее того времени, когда в ходе технических дискуссий 1994 года решалась судьба будущего проекта EAGLE. Эти дискуссии были очень непростыми. В составе японской делегации, прибывшей в НЯЦ РК для переговоров, сбалансированно присутствовали как приверженцы, так и противники казахстанского варианта реализации проекта. Профессор Фуджи-ё, который являлся руководителем делегации и был преданным сторонником идеи проведения экспериментов на реакторе ИГР, сознательно включил в состав японской делегации специалистов, которые без обидняков критиковали доклады НЯЦ РК о нашем техническом потенциале и научных компетенциях. Честно говоря, мы и сами понимали, что многое из того, что мы преподносили как нашу безусловную профессиональную бытность, на деле отсутствовало. Как наследие предыдущей деятельности, осуществляв-

JAEA, продвинулись вперед, и была улучшена и значительно укреплена техническая основа для оценок безопасности активной зоны.

2007–2012 гг. Начавшаяся в 2007 году программа EAGLE-2 была направлена на решение двух задач: проведение исследований возможности контролируемого перемещения расплава активной зоны вверх вопреки гравитации (в отличие от программы EAGLE-1, где изучалась возможность перемещения вниз) и проведение исследований возможности постепенного перемещения расплава активной зоны с последующим его охлаждением после перемещения по внутренней трубе FAIDUS. Решение первой задачи исходило из потребностей в изучении практического применения реактора на быстрых нейтронах, разработка которого была актуальна в то время в Японии. Реализация концепции, ведущей к перемещению расплава вверх, рассматривалась с точки зрения снижения объемов проектирования ТВС. Если подтверждается возможность перемещения расплава вверх, конструкция, в которой канал, имеющий отверстие на верхнем конце, устанавливается в топливной сборке, может быть принята в качестве стандартной. Перемещение расплава из активной зоны существенно снижает ее реактивность и мощность, а часть топлива не будет расплавлена и останется в активной зоне. Так как топливо нагревается под действием остаточного энерговыделения, оно будет расплавляться постепенно, затем расплав будет перемещаться и охлаждаться натрием. Данный фактор послужил основанием для определения второй задачи, для решения которой необходимо было проведение внутриреакторных экспериментальных исследований по изучению возможности контролируемого перемещения расплава активной зоны вверх. Вне реакторные эксперименты по изучению фрагментации расплава в бассейне с натрием стали началом к подготовке такого же внутриреакторного эксперимента. В результате было доказано, что расплав топлива

шейся в статусе предприятия бывшего СССР, наиболее значимым являлся наш опыт работ по тематике ЯРД, который практически никак не мог быть применен к будущим специфическим внутриреакторным экспериментам с плавлением нескольких килограммов ядерного топлива в присутствии жидкого натрия. Ампульные испытания одиночных твэлов реакторов различного назначения, хотя и имели прямое отношение к теме обоснования безопасности энергетических реакторов, но характеризовались иными масштабами (одиночные твэлы, а не многотвэльные ТВС; относительно небольшое количество ядерного топлива – в пределах нескольких десятков граммов, а не несколько килограммов; компактные ампульные устройства, а не массивные ампулы, занимающие весь объем центрального экспериментального канала реактора ИГР и др.), иными целями (обоснование теплотехнической надежности твэлов в части пороговых разрушающих значений энтальпии, а не исследования процессов перемещения расплавленного топлива; несущественная деградация твэлов в условиях потери охлаждения, а не массовое плавление топлива и оболочек твэлов ТВС с последующим плавлением металлических элементов каналов выведения топлива и др.), абсолютно иными условиями использования реактора ИГР (в экспериментах по обоснованию концепции SMR предусматривалась работа реактора при полном интеграле энерговыделения; требовалось обеспечить интенсивное охлаждение силовых защитных ампул экспериментальных устройств и др.) и иными требованиями к методикам проведения экспериментов в части измерения их параметров (некоторые из параметров появились в нашей терминологии впервые – датчики кипения или, иначе, датчики пустот; малогабаритные нейтронные и гамма-детекторы в качестве индикаторов перемещения расплава; акустические датчики в качестве детекторов событий разрушения элементов экспериментального устройства и др.).

Наиболее востребованным при подготовке будущих реакторных экспериментов по обоснованию концепции SMR представлялся опыт, полученный специалистами НЯЦ РК в ампульных экспериментах плавления, выполненных под руководством Васильева Ю.С. В этих экспериментах за счет ядерного разогрева в реакторе ИГР расплавляли 18 модельных твэлов, снаряженных шестью топливными таблетками ВВЭР-1000 каждый, и сливали полученный расплав (приблизительно один килограмм) в холодную или горячую воду с различной высотой, регистрируя величину импульса давления, измеряя со-

активной зоны может динамично перемещаться даже по направлению вверх под действием давления, которое возрастает в активной зоне естественным образом при плавлении топлива. Тем самым было подтверждено, что повторной критичности можно избежать, даже в том случае, если конструкция тепловыделяющей сборки, обеспечивающая возможность перемещения расплавленного топлива вверх, будет принята в качестве стандартной конструкции будущих SFR. Кроме того, полученные знания по перемещению и охлаждению расплава активной зоны сыграли важную роль при рассмотрении дизайна конструкций, которые расположены ниже активной зоны, например, таких как ловушка активной зоны. Как упоминалось выше, полученные данные применялись для валидации компьютерного кода, разработанного в JAEA, и зарубежные исследовательские центры также проявляли к ним большой интерес.

В 2014 году в рамках небольшого контракта под названием post-EAGLE-2 были проведены послезаключительные материаловедческие исследования экспериментальных устройств, испытанных в программах EAGLE-1 и 2, а также выполнено технико-экономическое обоснование возможности реализации проекта EAGLE-3, основываясь на результатах EAGLE-1 и 2, в которых перемещение топлива и его охлаждение (после устранения проблемы повторной критичности) стали основными темами исследований.

Результаты решения второй задачи на этапе EAGLE-2 показали, что SFR изначально могут удерживать и охлаждать разрушенные материалы активной зоны внутри корпуса реактора после ее разрушения и плавления, при условии поддержания уровня натрия и его охлаждения. Для детального изучения процесса перемещения расплава с последующим охлаждением, в марте 2015 года был подписан контракт EAGLE-3 на продолжение исследовательских работ. Основными целями проекта являлись исследования возможности перемещения топлива по направляющим трубам стержней



Визит проф. Кадыржанова К.К. в Японию, 2009



Загрузка экспериментального устройства в хранилище после проведения реакторного эксперимента, 2005

став продуктов деления и определяя размерный состав фрагментов расплава после его взаимодействия с водой. Но и этот опыт, как показала жизнь, оказался крайне недостаточным и позволил команде НЯЦ РК ответить обоснованно и достаточно аргументированно лишь на некоторые вопросы японской команды.

При обсуждении задач, нами прежде никогда не решаемых, наша поведенческая линия в основном характеризовалась расхожим выражением «кто не рискует, тот не пьет шампанского». При этом наше напористое стремление убедить японских гостей в нашей исключительной надежности как исполнителей потенциального контракта было обусловлено почти авантюрной уверенностью в собственных силах и, отчасти, безысходностью ситуации, в

регулирования системы СУЗ реактора и изучение процессов охлаждения расплава при наличии в нем остаточного энерговыделения, при ограниченном количестве охлаждающего натрия. К настоящему времени получены данные, подтверждающие влияние элементов конструкции активной зоны на перемещение и охлаждение расплава. Эти знания нашли отражение в конструкции внутренних элементов, находящихся в корпусе реактора и предназначенных для смягчения последствий тяжелых аварий.

EAGLE к настоящему времени

В рамках уже завершеного контракта EAGLE-3 на период с 2015 по 2024 гг. было запланировано и проведено 13 вне реакторных и 3 внутри реакторных экспериментов.

В 2015–2017 годах на вне реакторном стенде выполнялись экспериментальные исследования возможности перемещения расплава по модели направляющей трубы стержня регулирования с установленным внутри направляющей трубы устройством задания расхода натрия. В 2017 году подготовлены и проведены эксперименты по изучению эффективности охлаждения кориума в процессе осушения и повторного залива его натриевым теплоносителем, а также эксперимент по исследованию эффективности охлаждения кориума в натрия.

В 2017–2018 годах на комплексе ИГР проводились физические исследования:

- с макетом экспериментального устройства ID-5 (изучение возможности перемещения расплава материалов активной зоны через направляющую трубу стержня регулирования);
- с макетом экспериментального устройства ID-6 (исследования процесса охлаждения расплава с имитацией остаточного энерговыделения, при ограниченном объеме натрия).

В рамках вне реакторных исследований на стенде EAGLE в 2018 году были проведены экспериментальные работы, направленные на изучение эффективности охлаждения расплава



Техническая встреча в Японии, 2006

которой оказалось предприятие после развала СССР. Весьма неблагоприятное финансовое положение подразделений НЯЦ РК, сложившееся в результате разрушения связей прежней, советской профессиональной кооперации и отсутствия устойчивого пакета оплачиваемых заказов, привело к тому, что зарплата сотрудникам предприятия выплачивалась крайне нерегулярно, и будущее в этой связи представлялось весьма туманным. И несмотря на то, что перед нами лежала почти идеальная «Terra incognita», мы не имели права



Техническая встреча в Японии, 2009

в процессах с осушением и повторным заливом расплава натриевым теплоносителем (двухстадийный процесс охлаждения расплава – (1) падение расплава в натрий; (2) вытеснение натрия упавшим в него расплавом, осушение; (3) возврат натрия – повторный залив).

В 2018 году в рамках внутриреакторных исследований на реакторе ИГР был подготовлен и проведен исследовательский пуск с экспериментальным устройством ID-5 по изучению возможности использования направляющих труб СУЗ в качестве каналов вывода расплава. Получены уникальные экспериментальные данные по параметрам разрушения расплавленными материалами модели направляющей трубы стержня СУЗ, а также данные по влиянию расходозадающего устройства потока натрия на параметры перемещения расплава.

Во внереакторных исследованиях **2019 года** получены экспериментальные данные для оценки охлаждаемости расплава материалов активной зоны в условиях двухстадийного процесса охлаждения расплава. Эти результаты использовались при решении методических вопросов подготовки и проведения аналогичного внутриреакторного эксперимента по исследованию двухстадийного процесса охлаждения расплава с моделированием остаточного энерговыделения – последнее может быть реализовано только в условиях внутриреакторного эксперимента ID-6, выполнение которого было осуществлено в 2020 г.

В 2019 г. выполнены послеэкспериментальные исследования устройства ID-5, испытанного в 2018 г., и получены данные о характере разрушения расплавленными материалами активной зоны направляющей трубы стержня регулирования.

В 2020 г. в рамках внереакторных исследований были проведены два эксперимента на экспериментальном стенде EAGLE. По результатам одного эксперимента получены данные по параметрам перемещения расплава по направляющей трубе стержня регулирования с модифицированным

не вступить в ее пределы, не имели права не взяться за это проект и не заполнить его.

Здесь следует подчеркнуть, что японская команда не была настолько наивной, чтобы безоговорочно поверить в наличие в наших руках всех необходимых для выполнения работы знаний и технологий, да мы и не пытались убедить наших гостей в этом. Но с первых дней общения между японской и казахстанской командами установились впечатляющие отношения взаимопонимания и стремления совместного преодоления трудностей, ожидаемых на пути реализации проекта. Характерной особенностью обсуждения будущего контракта оказалось признание японской команды, что они и сами до конца и в деталях не представляют облика будущих экспериментов и рассчитывают на то, что все трудные задачи разработки схем экспериментальных устройств, определения режимов испытаний, выбора и обоснования методик и средств измерения параметров и многие другие будут решаться коллегиально в обязательном порядке. В итоге проект EAGLE является единственным на моей памяти масштабным исследованием, которое проводится без предварительно сформулированных технических требований к измеряемым параметрам экспериментов и к конструктивному облику экспериментальных устройств. Технические условия проведения каждого эксперимента в окончательном виде согласуются по результатам множественных дискуссий японских и казахстанских специалистов, при этом аргументы казахстанской стороны, особенно в отношении условий безопасного проведения экспериментов, принимаются нашими японскими коллегами практически безоговорочно.

Тема обеспечения условий безопасного проведения экспериментов по проекту EAGLE заслуживает особого внимания, поскольку, очевидно, что желание смоделировать в эксперименте условия аварии реального энергетического реактора изначально соседствует с потенциальной угрозой выхода процессов, происходящих в экспериментальном устройстве, за пределы его безопасной эксплуатации.

Основной принцип обеспечения надежности экспериментальных устройств и безопасности проведения экспериментов, на который продолжительное время ориентировались специалисты НЯЦ РК, состоял в том, что расплав топлива, полученный за счет его ядерного разогрева, практически без задержки удаляется из центра активной зоны реактора ИГР в массивную ловушку расплава, являющуюся по сути аварийной. Ловушка расплава проек-



Заседание Совместной комиссии правительственного и частного секторов Казахстана и Японии по экономическому сотрудничеству (Токио), 2013 г.

расходоизмеряющим устройством потока натрия. По результатам другого – данные о зависимости уровня натрия по высоте сливной трубы от времени при многократном заливе модели застывающего кориума жидким натрием.

В рамках внутриреакторных исследований по программе EAGLE проведен эксперимент ID-6, целью которого являлось изучение процесса охлаждения расплавленных материалов активной зоны, переместившихся по сливной трубе в область с ограниченным количеством теплоносителя и находящихся там в условиях остаточного энерговыделения. В результате были получены данные по параметрам разрушения расплавленными материалами сливной трубы, по параметрам перемещения расплавленных материалов активной зоны в камеру с ограниченным количеством теплоносителя, по параметрам взаимодействия расплава с теплоносителем и по параметрам охлаждения расплава в условиях остаточного энерговыделения с ограниченным количеством теплоносителя.

В 2021 г. на экспериментальном стенде EAGLE в рамках внереакторных исследований были проведены два эксперимента, по результатам которых получены данные по процессам охлаждения модели кориума при многократном циклическом контакте натриевым с теплоносителем.

По внутриреакторной части проекта в радиационно-защитной камере (РЗК) КИР «Байкал-1» была завершена программа послереакторных исследований и выполнен анализ полученных результатов разрушающих исследований ЭУ ID-6. Полученные результаты позволили определить количественное распределение расплава материалов активной зоны в объеме экспериментального устройства, массу расплава, слившегося в камеру с ограниченным количеством теплоносителя и получить визуальную картину состояния элементов конструкции экспериментального устройства.

В 2022 г. на исследовательском реакторе ИГР подготовлен и проведен внутриреакторный эксперимент ID-7 по

тируется так, чтобы её интегральная теплоемкость была достаточной для поглощения избыточного тепла поступившего в неё расплава при том условии, что ловушка не будет разогрета до опасной температуры, и тепловой поток от ловушки в окружающие её конструкции не превысит допустимого уровня. В качестве другого элемента безопасности рассматривался чехол ТВС, в котором происходит плавление материалов твэлов. Этот чехол имел многослойную конструкцию, включая слой термической защиты и два металлических слоя, формировавших тракт охлаждения чехла, в который в качестве теплоносителя подавался азот. Изначально предполагалось, что слой термической защиты (графитовая обечайка), непосредственно контактирующий с расплавом в ходе эксперимента, исключит нежелательный прямой контакт расплавленного топлива с металлическими стенками, формирующими тракт охлаждения, а принудительное охлаждение этих стенок азотом обеспечит в этом случае их термическую и, соответственно, механическую устойчивость.

Однако практика показала, что в тех случаях, когда экспериментальное устройство содержало натрий, с которым взаимодействовало топливо в полости чехла ТВС, графитовая обечайка разрушалась, и расплав практически беспрепятственно мог контактировать со стальной обечайкой тракта охлаждения. Но даже в этом случае малая продолжительность такого контакта являлась спасительным фактором, так как в течение одной-двух секунд происходило удаление расплава из чехла ТВС. Такой подход позволил безопасно выполнить все эксперименты в программах EAGLE-1 и EAGLE-2, где важным параметром являлось количество получаемого расплава топлива – как правило, твэлы загружались диоксидом урана, масса которого превышала 6 кг.

Но в одном из экспериментов программы EAGLE-3 расплав не был удален из полости чехла ТВС, что привело к разрушению обеих обечаек тракта охлаждения и к выбросу расплава в полость силовой ампулы, усиленному давлением азота, попавшего в чехол ТВС из тракта охлаждения.

Результат этого эксперимента заставил специалистов НЯЦ РК пересмотреть концепцию обеспечения безопасности испытаний модельных ТВС на реакторе ИГР. В частности, в целях гарантированного удержания расплава во внутренней полости чехла ТВС, в составе его стенок стало обязательным применение защитных слоев из твердой керамики или углеволокна. Кроме этого, было снижено максимально допустимое количество топлива в экспериментальном устройстве, исключена подача азота на охлаждение чехла ТВС во время реакторного импульса, расширен перечень аварийных ситуаций, подлежащих рассмотрению в отчетах по обоснованию безопасности и многое другое.

Эти требования стали обязательными к исполнению не только в проекте EAGLE, но и во всех экспериментах, осуществляемых на реакторе ИГР, что является одной из наиболее важных составляющих положительного научного и технологического опыта, накопленного при выполнении проекта EAGLE, наряду с опытом проведения экспериментов с массовым плавлением топлива и конструкционных материалов и опытом применения специфических средств измерения параметров внутриреакторных экспериментов.

В отношении последнего достаточно отметить тот факт, что благодаря проекту EAGLE в НЯЦ РК была создана специализированная лаборатория, занятая изготовлением нестандартных термодатчиков, датчиков пустот и электрических нагревателей, используемых как в реакторных, так и во вне реакторных экспериментальных устройствах.

И, наконец, еще одним важным достижением, которое нельзя не отметить, оценивая значение проекта EAGLE для НЯЦ РК, является высокий уровень расчетно-теоретической поддержки работ по проектированию экспериментальных устройств и обработке результатов экспериментов, достигнутый во многом благодаря этому проекту. Приобретение новейших расчетных кодов, постоянное внимание к вопросам повышения квалификации специалистов-

изучению влияния демпфера стержня регулирования на параметры перемещения расплава материалов активной зоны по направляющей трубе стержня регулирования системы СУЗ реактора. Получены данные по параметрам разрушения расплавленными материалами модели направляющей трубы стержня СУЗ, а также данные по влиянию демпфера стержня регулирования на параметры перемещения расплава. Завершена программа послереакторных материаловедческих исследований с экспериментальным устройством ID-6. Получены результаты гранулометрического анализа и определен элементный состав расплава.

В 2023 г. в радиационно-защитной камере КИР «Байкал-1» завершено выполнение программы послереакторных разрушающих исследований с экспериментальным устройством ID-7, испытанным в 2022 г. Выполнен процесс продольной осевой резки конструктивных элементов испытательной секции экспериментального устройства, предварительно заполненных эпоксидным компаундом. Получена визуальная картина состояния внутренних полостей элементов конструкции испытательной секции, а также данные о распределении массы расплава в объеме экспериментального устройства после проведенного эксперимента. Выполнен гранулометрический анализ расплава, извлеченного из ловушки экспериментального устройства ID-7. Подготовлен итоговый отчет, в котором отражена информация о пространственном распределении и состоянии расплава в полости экспериментального устройства, подтвердившем возможность удаления расплава из активной зоны реактора через направляющие трубы стержней регулирования.

В начале 2024 года завершен заключительный этап контракта – послереакторные исследования экспериментального устройства ID-7 и оценка влияния демпфера, установленного в направляющей трубе стержня регулирования СУЗ, на параметры течения в ней расплавленных материалов активной зоны реактора на быстрых нейтронах.



Монтаж экспериментального устройства, 2022

В конце марта текущего года по итогам выполнения проекта EAGLE-3 подписан двусторонний меморандум о взаимопонимании, официально подтвердивший факт завершения всех работ, предусмотренных условиями соответствующего контракта.

EAGLE в ближайшем будущем

На последней технической встрече, состоявшейся в декабре 2023 года, нашими японскими партнерами были озвучены предложения по дальнейшим исследованиям. Возможно, уже в конце 2024 года предстоит заключение контракта на выполнение технико-экономического обоснования возможности проведения экспериментов по изучению процесса охлаждения топлива при многократном циклическом контакте с натриевым теплоносителем, по результатам выполнения которого в начале 2026 года будет принято решение о реализации последующей, уже четвертой по счету, большой исследовательской программы.

Заключение

Генеральный директор РГП НЯЦ РК Э.Г. Батырбеков 5 марта 2019 года в ходе рабочей встречи с президентом JAEA г-ном Toshio KODAMA отметил, что с 2001 года по настоящее время на реакторном комплексе ИГР было успешно проведено 13 внутриреакторных экспериментов. На стенде EAGLE проведено 52 вне реакторных эксперимента.

Важно подчеркнуть, что EAGLE является резонансным проектом, которому уделяется большое внимание не только руководством НЯЦ РК, но и профильным Министерством энергетики РК, которое осознавая важность и перспективность исследований в обоснование конструкции активной зоны наиболее перспективного реактора Поколения 4, оказывает всестороннюю поддержку и помощь в реализации проекта.

Обмен специалистами и доверительные отношения между НЯЦ РК и JAEA, сложившиеся благодаря со-



Монтаж экспериментального устройства, 2022

расчетчиков, возможность проведения параллельных с японскими коллегами расчетов с последующим сравнением результатов, опубликование статей в цитируемых рейтинговых изданиях, раскрывающих особенности расчетных методик и результаты их применения, и, наконец, защита диссертаций стали обычной практикой в деятельности расчетных подразделений НЯЦ РК.

Подводя итог сказанному выше о проекте EAGLE, необходимо, в первую очередь, подчеркнуть, что эта работа определила современные, признанные на высоком международном уровне компетенции НЯЦ РК в области решения задач экспериментального обоснования безопасности ядерных реакторов на быстрых нейтронах. В настоящее время НЯЦ РК владеет множественными экспериментальными установками, технологиями и методами научного анализа, обеспечивающими непреходящее внимание к нашей организации со стороны ведущих профильных научных и промышленных организаций всего мира.

Наши достижения в проекте EAGLE – это пример преодоления трудностей, неразрешимых на первый взгляд, но побежденных в результате самоотверженного труда многих и многих сотрудников НЯЦ РК на всех этапах реализации проекта. Но особенно хочется отметить членов команды НЯЦ РК, которые работали на начальной стадии проекта.

Это Васильев Ю.С., Пивоваров О.С., Колодешников А.А., Пахниц В.А., Яковлев В.В., Шаповалов Г.В., Вурим А.Д., Гайдайчук В.А., Алейников Ю.В., Сынов А.К., Богомолова И.Н., Истомин Ю.Л., Попов Ю.А., Жданов В.С., Бакланов В.В., Витюк В.А., Трухачев А.Г., Пахниц А.В., Гайсин А.Я., Ермилова И.Н., Головкин В.П., Пятова З.И. и многие другие...

Именно они после первого интегрального эксперимента на реакторе ИГР услышали слова благодарности за выполненную работу и слова признания несомненного успеха даже от тех японских коллег, которые в этот успех в 1994 году не верили...

Александр Вурим

вместному преодолению технических трудностей, привели в итоге к возникновению взаимопонимания между Казахстаном и Японией. В тесной кооперации с НЯЦ РК, основываясь на прочных отношениях и благодаря разработанной технологии проведения экспериментов, мы смогли завершить проект EAGLE-3, ответив на все вопросы, связанные с безопасностью активной зоны реактора на быстрых нейтронах.

Благодаря реализации программ EAGLE-1, -2, -3 в НЯЦ РК был раскрыт впечатляющий потенциал проведения широкого спектра экспериментов, что позволяет планировать и выполнять сложные эксперименты с расплавом топлива и натрием. Эта технология и достижения стали платформой для реализации нового международного сотрудничества в области безопасности быстрых реакторов. Выполняя проект EAGLE, НЯЦ не только развивает и укрепляет свои компетенции, но и получает все большую известность как состоявшаяся база для сложнейших экспериментально-теоретических исследований, следствием чего является выполнение контракта по исследовательской программе SAIGA в содружестве с французским комиссариатом по ядерным и альтернативным источникам (CEA).

Безусловно, выполнение проекта EAGLE способствовало повышению научного авторитета JAEA и НЯЦ РК, поскольку работы по проекту относятся к глобальной проблеме обеспечения безопасности объектов атомной энергетики. Кроме того, учеными обеих стран будет приобретен уникальный опыт разработки и испытаний высокотехнологичных элементов конструкций ядерных установок. Полученные результаты выполненных исследований будут использованы в разработке конструкций активных зон перспективных реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, обладающих свойствами внутренней самозащитенности в отношении тяжелых аварий.

Александр Пахниц

Создание стендового комплекса EAGLE



В 1998 году программа проекта EAGLE была расширена за счет включения в нее внереакторных экспериментов, основной целью которых являлось предварительное экспериментальное подтверждение возможности перемещения расплава по стальной сливной трубе, имитирующей трубную секцию, входящую в состав конструкции тепловыделяющей сборки (ТВС), и определение параметров процессов, связанных с перемещением расплава по трубной секции.

В начале сентября 1998 года было разработано техническое предложение «Создание экспериментального стенда для исследований по проблемам безопасности атомной энергетики», в котором были определены основные требования к составу и постановке экспериментальных исследований, месту размещения исследовательского стенда. Было решено разместить этот стенд в городе Курчатова на территории РГП НЯЦ РК в здании 225А, ранее предназначавшемся для заправки транспортных цистерн сжиженными газами.

В конце сентября 1998 года выпускается приказ о создании стендового комплекса EAGLE и нового подразделения – отдела технологических разработок. На должность начальника отдела технологических разработок был назначен Яковлев В.В. – начальник службы эксплуатации технологических систем реакторных установок, отработавший к тому моменту более 25 лет на комплексе исследовательских реакторов «Байкал-1».



Экспериментальная установка, подготовленная к проведению методического эксперимента

Учитывая большой объем предстоящих исследований и короткие сроки их реализации при создании и наладке стенда EAGLE в ИАЭ РГП НЯЦ РК была применена матричная организационная структура – модель управления, в которой сотрудники находились в двойном подчинении: руководителя подразделения и ответственного исполнителя проекта – начальника отдела технологических разработок. Такая структура позволила в течение 20 месяцев выполнить расчетные, проектные, строительные, монтажные и автономные пусконаладочные работы оборудования и систем первой очереди строительства стенда EAGLE (без участка очистки от натрия).

При разработке технических требований к оборудованию и системам стенда возникли сложности из-за отсутствия нормативных документов к экспериментальной установке, в которой используются и взаимодействуют расплавленные радиоактивные вещества, температура которых превышает 3000 °С, и щелочной металл – натрий, нагретый до 500 °С. Выход из сложившейся ситуации был найден, в январе 1999 года было разработано и согласовано с Агентством по атомной энергии Республики Казахстан решение о распространении действия «Правил устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» (ПНАЭ Г-7-008-89) на экспериментальное оборудование.

В июле 1999 года было разработано и утверждено техническое задание на проектирование «Экспериментальный стенд по проблемам безопасности атомной энергетики».

В течение 1999 и в первой половине 2000 годов группами специалистов научно-исследовательских, конструкторских подразделений, служб реакторных комплексов и вспомогательных подразделений были разработаны программы экспериментов, технические требования к экспериментальной установке, системам стенда, инженерному и вспомогательному оборудованию, выполнены необходимые расчеты в обоснование промышленной, радиационной и санитарной безопасности.

Первым был разработан уникальной конструкторский проект модульной экспериментальной установки, состоящей из: электроплавильной индукционной печи, силового корпуса, шиберного устройства, теплообменников и устройства приема расплава.

В начале 2000 года основное оборудование экспериментальной установки было изготовлено на казахстанском машиностроительном заводе ТОО «БЕЛКАМИТ», в апреле смонтировано в экспериментальном зале стенда EAGLE и подготовлено к проведению методического эксперимента.

Электроплавильная печь позволяет получить до 26 кг расплава, содержащего диоксид урана (UO_2), окись циркония и нержавеющую сталь или до 15 кг расплава окиси алюминия (Al_2O_3).

При разработке проекта экспериментальной установки были сформированы требования к компоновке зданий и сооружений, а также к технологическим, управляющим, инженерным и обеспечивающим системам стенда.

К началу 2000 года были завершены разработки следующих проектных материалов: электротехнической системы, системы охлаждения, системы автоматического управления, системы контрольно-измерительных приборов и автоматики, информационно-управляющей системы, системы дозиметрического контроля, систем видеоконтроля и



Здание 225А после завершения строительно-монтажных работ. Апрель 2000 года

5 мая 2000 года на стенде EAGLE, был проведен первый методический эксперимент, при проведении которого были задействованы все системы стенда первой очереди.

12 мая 2000 года состоялось торжественное открытие стенда EAGLE, на котором присутствовали Министр энергетики, промышленности и торговли Республики Казахстан Школьник В.С. и Председатель Комиссии по атомной энергии Японии Й. Фуджи-ё, представители местной и областной администрации.

В течение 2000–2002 годов были разработаны и изготовлены внереакторные экспериментальные устройства, с использованием которых проведены серии экспериментов: отладочные испытания (UTD0) – эксперименты, направленные на отработку и доводку отдельных узлов и деталей конструкции экспериментальной установки; первый этап подготовительных испытаний (UTD1-4) – эксперименты, необходимые для подтверждения работоспособности узлов установки, непосредственно влияющих на методическую чистоту моделирования процессов управляемого перемещения расплава. В качестве исходных материалов для получения расплава использовались UO_2 и Al_2O_3 как основные материалы, имитирующие материалы МОХ-топлива. В общей сложности было проведено около 20 экспериментов без натрия.

Для проведения дальнейших экспериментов, моделирующих реальные условия эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах, в которых в качестве теплоносителя применяется натрий, были спроектированы и смонтированы системы хранения, заполнения и утилизации натрия.

Второй этап испытаний (UTD-5, PIDO) – эксперименты с натрием, предусматривал поэтапную комплексную проверку работоспособности всех узлов и систем экспериментальной установки с полным комплектом средств

связи, системы специальной канализации, системы вентиляции, системы водоснабжения и канализации.

В конце апреля 2000 года были завершены все строительные и монтажные работы, а также были проведены автономные пусконаладочные работы на системах стенда первой очереди (без участка очистки от натрия).



Центральный пульт управления стендовыми системами для экспериментов первой очереди



Торжественное открытие стенда EAGLE. Май 2000 года

измерения (включая систему измерения перемещения расплава в сливной трубе и рентгеновскую систему неразрушающего контроля местонахождения расплава).

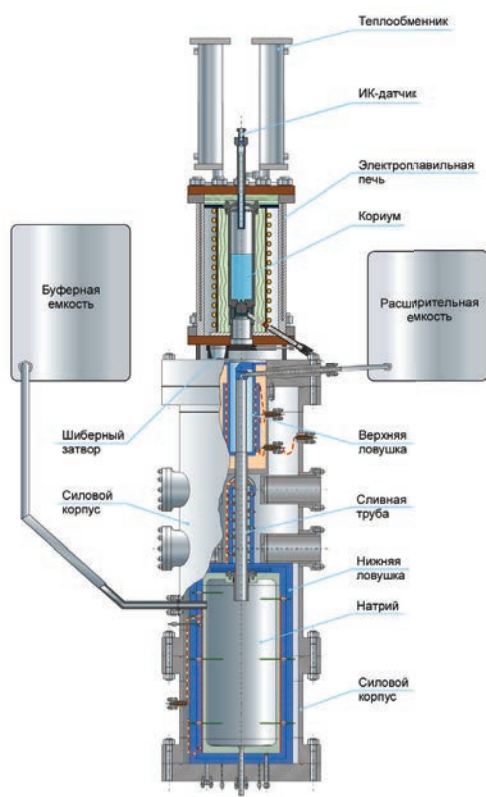
Оборудование для технологических и инженерных систем, а также экспериментальные устройства были изготовлены в экспериментально-механическом цехе РГП НЯЦ РК. Все строительные, монтажные и наладочные работы по созданию систем электроснабжения, автоматизации, информационно-измерительных и технологических систем были выполнены подразделениями РГП НЯЦ РК.

18 июня 2002 года после завершения большой серии наладочных экспериментов был принят в эксплуатацию экспериментальный стенд EAGLE.

Реализованные программы совместных исследований на экспериментальном стенде EAGLE позволили существенно развить компетенции научных сотрудников



Сотрудники отдела технологических разработок в период проведения второй серии экспериментов. (слева на право: Коваленко И.В., Жагипаров А.Б., Овчинников Е.В., Козачук В.В., Фаттахов Д.Ш., Иванов В.А., Куликов В.А., Шипилова Е.П., Трофимов Р.М., Сенченков В.И., Рахимов Р.Р., Абрамов С.В., Приходько В.Ф.)



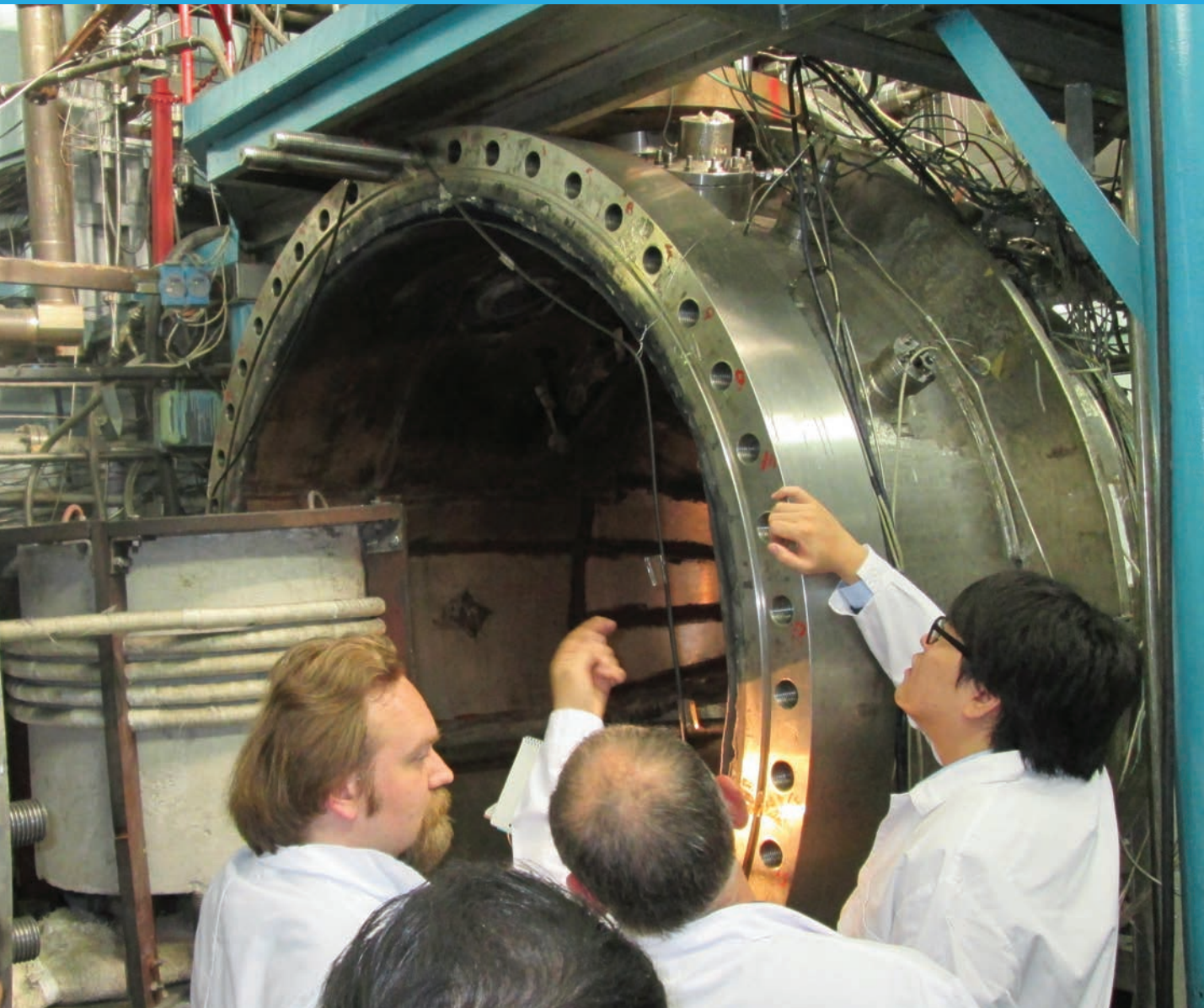
Конструктивная схема экспериментальной установки для полномасштабных экспериментов с применением натрия

РГП НЯЦ РК, а также подготовить коллективы инженерно-технических специалистов, занимающихся проектированием, изготовлением, эксплуатацией уникальных технических устройств и систем в области использования атомной энергии.

В заключение необходимо с благодарностью вспомнить о людях, внесших большой вклад в создание стендового комплекса и успешную реализацию вне реакторной части проекта EAGLE на всех этапах его выполнения: руководитель работ по созданию стенда – Пивоваров О.С.; научно-методический руководитель – Васильев Ю.С.; ответственный исполнитель – Яковлев В. В.; главные инженеры реакторных комплексов – Звонарев А.В., Колбаенков А.Н., Пахниц В.А., Казьмин Ю.М.; отдел технологических разработок – Афанасьев О.В., Гайсин А.Я., Дружинин А.В., Поляков В.Н., Старовойтенко А.А., Баканов С.В.; сотрудники научных отделов – Зуев В.И., Кукушкин М.И., Игнашев В.И. Шаповалов Г.В.; проектно-конструкторская группа – Сынков А.К., Голубев Б.Е., Дедов В.П., Коротков В.И., Голубева А.Б., Сынкova О.Д., Польских В.М.; отдел главного энергетика – Гановичев А.А., Шаранова Г.П., Салагаева Н.А.; отдел главного механика – Кафтаник А.Х., Ниханов М.Ж. и многие другие.

Виталий Яковлев

Проект CORMIT. Обеспечение безопасной эксплуатации ядерных реакторов



Обеспечение безопасной эксплуатации ядерных реакторов – одна из важнейших задач ядерной инженерии. Для решения вопросов безопасности энергетических реакторов был проведен ряд исследований, как теоретических, так и экспериментальных. Наиболее информативные данные о возможных последствиях тяжелых аварий на энергетических реакторах различных типов, связанных с несанкционированным повышением реактивности при длительных перерывах в охлаждении активной зоны и последующим расплавлением активной зоны могут быть получены в ходе экспериментальных исследований. Такие исследования позволяют усовершенствовать существующие или разработать новые расчетные методы, предназначенные для определения параметров тяжелых аварий при обосновании проектирования разрабатываемых атомных станций или анализе безопасности действующих станций.

За 35 лет в мировой атомной энергетике произошло несколько тяжелых аварий (АЭС «Три Майл Айленд», США, 28 марта 1979 года, Чернобыльская АЭС, Украина, 26 апреля 1986 года, АЭС «Фукусима», Япония, 11 марта 2011 года), сопровождавшихся разрушением активной зоны реактора с водяным охлаждением.

Проблема удержания расплава топлива в защитной оболочке атомных электростанций с реакторами водяного типа (ВВЭР) является актуальной и сложной задачей. Для таких реакторов, составляющих основу мировой ядерной энергетике, аварии с потерей охлаждения активной зоны, сопровождаемые возникающим при этом плавлением ядерного топлива и образованием большого количества водорода при взаимодействии паров воды с расплавляющимися циркониевыми оболочками твэлов, представляют наибольшую опасность. Высокоэнергетический расплавленный материал, содержащий как тяжелые оксиды, так и продукты деления, представляет собой сложную для описания и моделирования систему, способную претерпевать различные фазовые превращения и вступать во взаимодействие с материалами ограждающих конструкций. Экспериментальные исследования подтвердили представления специалистов о том, что большая часть процессов такого взаимодействия может вызвать необходимость решения сложных проблем ядерной безопасности, водородобезопасности, разрушения корпусных ограждений, паровых взрывов и других явлений, влияющих на целостность основных барьеров удержания радионуклидов в пределах защитной оболочки АЭС.

В проектах, создаваемых на базе АЭС предыдущего поколения, решение проблемы осложняется проектными ограничениями, предопределяющими размещение устройства локализации расплава в пределах подреакторного пространства шахты реактора. В связи с чем

разрабатываются новые решения повышения безопасности для АЭС следующего поколения, направленные на предотвращение возникновения тяжелых аварий и локализацию их последствий.

Задача создания ловушки расплава для АЭС с ВВЭР является новым инженерным проектом в ядерной энергетике и не имеет аналогов в практике реакторостроения. Главная задача ловушки расплава – принять и как можно быстрее охладить расплав топлива в объемах локализации с целью не допустить его разогрева, выхода нелетучих продуктов деления, минимизации образования водорода и предотвращения образования повторной критичности. В связи с этим, выбор жаростойкого (защитного) материала для ловушки расплава и исследования его эффективности является одним из приоритетных направлений в данное время.

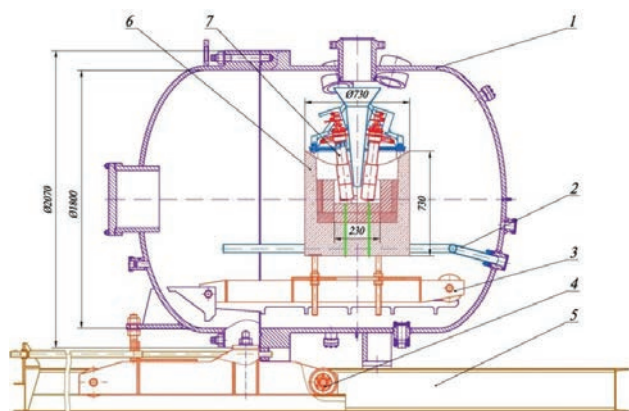
Физическое моделирование является самым эффективным способом изучения процесса взаимодействия кориума с различными конструкционными элементами. Для обеспечения экспериментальных условий моделирования, максимально приближенных к натурным, должно учитываться не только соответствие состава прототипного кориума (имитатора расплава активной зоны легководяного реактора) реальному, но и остаточное энерговыделение в расплаве на заданном уровне. Экспериментальная база филиала РГП НЯЦ РК позволяет проводить такие исследования конечной стадии развития тяжелой аварии с расплавлением активной зоны.

Проект CORMIT (**C**orium and **R**efractory **M**aterials **I**nteraction **T**est – эксперимент по взаимодействию кориума и жаростойкого материала) является частью экспериментальных исследований по взаимодействию кориума с жаростойкими материалами, предлагаемыми для защитного покрытия ловушки расплава.

Это был следующий этап экспериментальных исследований, реализованных ранее в таких проектах как COTELS, INVECOR, IVR-AM и «Fucushima Debris», в рамках которых была разработана и модифицирована установка «Лава-Б» (ранее СЛАВА, ЛАВА и ЛАВА-М) на экспериментальном стенде «Ангара». Необходимо отметить большой вклад в реализацию этих работ таких учёных и специалистов, как: Васильев Ю.С. (руководитель программы COTELS и последующей за ней программы IVR-AM), Колодешников А.А., Бакланов В.В., Жданов В.С., Зуев В.А., Микиша А.В., Иванов В.Я., Михеев П.И., Кукушкин М.И., Игнашев В.И., Зверев В.В., Кукушкин И.М., Шаповалов Г.В.

Проект CORMIT предусматривал исследования в рамках договора между РГП НЯЦ РК и компанией TOSHIBA (Япония), при посредничестве японской фирмы Marubeni Utility Services, Ltd. (MUS) и реализован в две фазы CORMIT (2012-2016) и CORMIT-II (2018-2020).

Целью экспериментов являлись исследования процессов и последствий взаимодействия кориума (debris) с кандидатными жаростойкими материалами для вы-



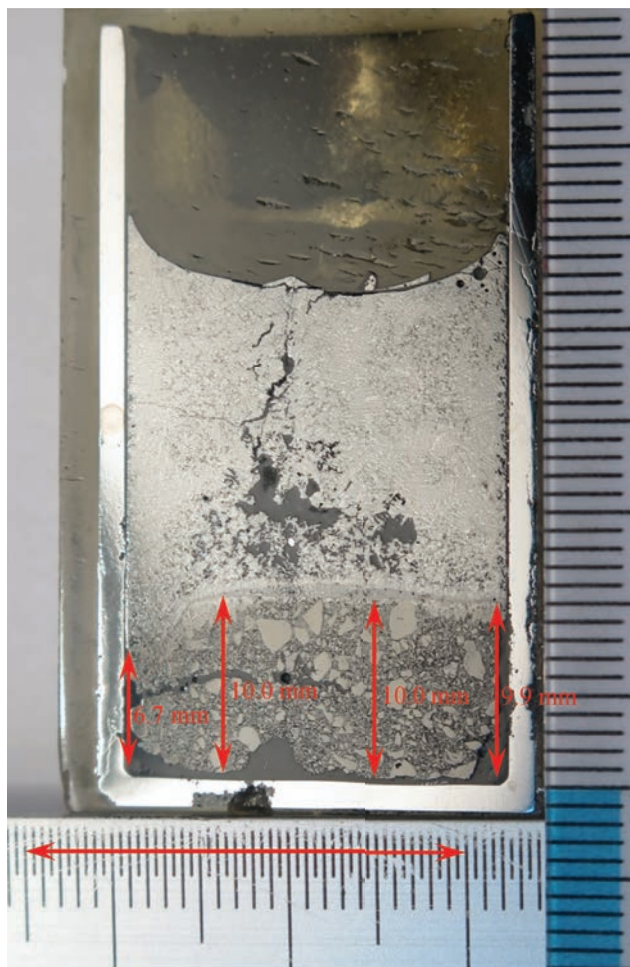
1 – емкость УПР; 2 – парогазопровод; 3 – устройство передвижения ловушки; 4 – тележка; 5 – рама; 6 – ловушка расплава

Схема экспериментального устройства с ловушкой расплава



Внешний вид различных образцов огнеупорных блоков, подготовленные для маломасштабных экспериментов

бора наиболее эффективного материала покрытия ловушки расплава. Программа исследований предусматривала выполнение маломасштабных экспериментов на стенде ВЧГ-135 и крупномасштабных экспериментов на установке «Лава-Б».



Сечение образца после взаимодействия с расплавом кориума (маломасштабный эксперимент)

В результате проведенных экспериментов определены параметры эрозии жаростойких (защитных) материалов под воздействием кориума, параметры механических и тепловых процессов, происходящих при контакте кориума и жаростойкого материала, получены данные для верификации моделей и расчетных кодов, описывающих процесс взаимодействия кориума с ловушкой расплава.

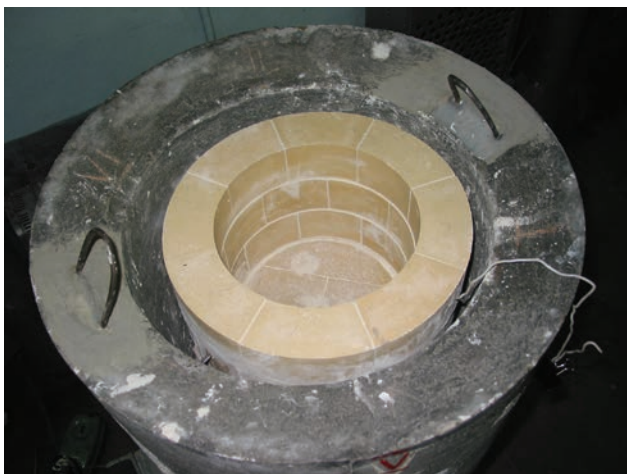
По проекту **CORMIT** (первая фаза) на стенде ВЧГ-135 были проведены три серии маломасштабных экспериментов (калибровочные эксперименты, эксперименты по получению эвтектических расплавов и эксперименты по исследованию взаимодействия расплава с защитными тугоплавкими материалами) и серия из 8 крупномасштабных экспериментов (RT0-RT7) на установке «Лава-Б». В результате экспериментов, проведенных на стенде ВЧГ-135 (более 70 экспериментов), была осуществлена калибровка средств измерения температуры (использовавшихся в маломасштабных экспериментах) по точкам плавления реперных материалов, определены эвтектические температуры для прототипного кориума различного состава и получены данные о характере и интенсивности воздействия расплава прототипного кориума на маломасштабные образцы, изготовленные из нитрида бора, окиси магния и окиси циркония (трех различных модификаций). Первые эксперименты на установке «Лава-Б» проводились в обоснование возможности использования системы плазмотронных нагревателей (созданной в рамках проекта INVECOR) как метода имитации остаточного энерговыделения в расплаве, находящегося в ловушке. Дальнейшие исследования взаимодействия прототипного кориума с кандидатными жаростойкими материалами на установке «Лава-Б» показали, что в результате воздействия прототипного кориума на блоки появляется существенная эрозия поверхности этих блоков.

Практически после каждого полномасштабного эксперимента проходили плодотворные технические встречи между казахстанскими и японскими специалистами, на которых обсуждались результаты прошедшего и планирование следующего эксперимента. Именно полученный в ходе таких встреч опыт трудно переоценить и знания, накопленные в результате проведенных исследований, легли в основу идей для существующих в настоящее время направлений, реализуемых в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

В рамках работ по проекту **CORMIT-II** (вторая фаза), проведенных в **2018 году**, на стенде ВЧГ-135 были проведены три серии маломасштабных экспериментов: калибровочные эксперименты, эксперименты по получению эвтектических расплавов и эксперименты по исследованию взаимодействия расплава с кандидатным защитным материалом. Для проведения экспериментов по получению эвтектических расплавов и



Ловушка с блоками до (внешний вид) и после (в разрезе) эксперимента RT-9/2



Внешний вид ловушки с блоками до и после эксперимента RT-11



Внешний вид донного блока после эксперимента RT-11



Совместная работа трёх плазматронов



Подготовка индуктора ЭПП к работе



Техническая встреча со специалистами компании Тошиба 27 января 2020 года



Установка бетонной ловушки на тележку УПР



Проверка собранной установки на герметичность



Осмотр установки «Лава-Б» специалистами компании Тошиба в ходе технической встречи 9 октября 2019 года

исследованию взаимодействия расплава с защитным материалом был проведен эксперимент по получению кориума с высоким содержанием оксида циркония (10 экспериментов). На установке «Лава-Б» была проведена серия подготовительных экспериментов (VT) и один эксперимент по взаимодействию расплава с защитным материалом (RT-8). В ходе эксперимента RT-8 на установке «Лава-Б» было получено и слито в бетонную ловушку, донная часть которого была покрыта блоками из жаростойкого материала, около 60 кг прототипного кориума. По итогам проведены материаловедческие исследования.

Во второй фазе проекта тип имитации остаточного энерговыделения применялся индукционный (вместо плазмотронного). Это позволило достичь более простой конструкции экспериментального устройства и получить более высокие показатели подводимой в расплав тепловой мощности.

В 2019 году были проведены три серии маломасштабных экспериментов: калибровочные, по получению эвтектических расплавов и исследованию взаимодействия расплава с кандидатным защитным материалом. Для получения эвтектических расплавов и исследованию взаимодействия расплава с защитными материалами был проведен эксперимент по получению кориума с высоким содержанием оксида циркония (10 экспериментов). На установке «Лава-Б» было проведено три эксперимента: RT-9, RT-9/2 и RT-10. В результате получены данные по теплотехническим характеристикам процесса плавления шихты для получения прототипного кориума. Выполнены испытания блоков по заданным режимам. Проведены постматериаловедческие исследования.

На этапе реализации проекта пандемия COVID-19 незначительно осложнила и замедлила темп выполнения всех работ, т.к. многие сотрудники вынуждены были уйти на удаленный режим работы. Технические встречи также перешли в онлайн -формат.

Тем не менее, в 2020 году были проведены 6 маломасштабных и 2 крупномасштабных эксперимента RT-11 (донные и боковые блоки были из жаростойкого ма-



Внешний вид сечения ловушки после эксперимента RT-12

териала) и RT-12 (ловушка была полностью бетонная, без жаростойкого материала).

Проведенные в рамках проекта **CORMIT** исследования позволили получить информацию о характеристиках фрагментации кориума, стойкости жаростойких материалов под воздействием имитатора расплава активной зоны легководного реактора в условиях имитации остаточного энерговыделения, приближенных к реальным.

Результаты проведенных исследований позволили сделать **вывод** о реализуемости концепции удержания материалов активной зоны реактора при тяжелой аварии в пределах контролируемого барьера (ловушки расплава), при этом риск выхода материалов активной зоны в окружающую среду будет существенно снижен. Такие исследования показывают научному сообществу возможность усиления безопасности АЭС на тепловых нейтронах и снизить негативное отношение к атомной энергетике в целом, которое возникло после аварии на АЭС «Fukushima-1».

Асан Акаев
Максат Бекмулдин

Проект Fukushima Debris



Предпосылки

В процессе аварии на АЭС «Фукусима-1» (Fukushima Daiichi) в 2011 году ядерное топливо было расплавлено из-за прекращения функционирования всех систем охлаждения реактора. Образовавшийся в результате аварии кориум (расплава топлива и конструкционных элементов активной зоны реактора) перемещался и мог затвердевать в различных областях реакторной установки (как внутри силового корпуса реактора, так и вне его). Одной из задач, которую необходимо решить для ликвидации последствий этой аварии, является удаление застывшего кориума из корпуса реактора и защитной оболочки (контейнмента) АЭС. Отсутствие достоверных данных о состоянии и свойствах застывшего кориума (debris) затрудняли разработку и создание инструментов для его удаления (разрезки или разрушения).

Проект “Debris Property Evaluation for Research and Development of Debris Removal Device” или FD (Fukushima Debris), начавшийся в 2014 году, был посвящен подготовке и проведению экспериментальных исследований по получению модельного застывшего кориума, аналогичного по составу, структуре и свойствам кориуму, образовавшемуся в результате. Изучение свойств застывших фрагментов модельного расплава активной зоны позволяет получить необходимые данные по физико-механическим свойствам имитатора кориума и разработать инструменты и процедуру для извлечения материала из аварийных реакторов.

В 2014–2015 годах по проекту FD было проведено три исследовательских эксперимента на стенде «Лава-Б» с целью получения имитатора кориума заданного состава и изучения его свойств, а также, в качестве методического сопровождения, четырнадцать маломасштабных экспериментов на стенде ВЧГ-135.

Работы выполнялись на экспериментальной базе филиала «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК по заказу компании Toshiba, при посредничестве японской фирмы Marubeni Utility Services, Ltd. (MUS).

Результаты исследовательских экспериментов

Целью экспериментального моделирования процессов взаимодействия кориума с конструкционными сталями реактора «Фукусима-1» являлось изучение свойств полученных затвердевших расплавов.

Моделирование осуществлялось в серии экспериментов FDP на стенде «Лава-Б».

Конструктивно стенд состоит из двух основных узлов: электрической плавильной печи (ЭПП) и устройства приёма расплава (УПР).

В ЭПП индукционного типа при температуре порядка 2600 °С производились плавление шихты из тугоплавких материалов (UO_2 , B_4C , Zr) различных композиций, а полученный расплав сливался в находящуюся в УПР стальную ловушку, внутрь которой устанавливались образцы реакторных конструкционных материалов из никелевого сплава 600 и сталей марок 304, SQV 2A и 316L.



Ловушка расплава с установленными образцами реакторных конструкционных материалов

После слива расплава в ловушку выполнялось охлаждение системы по разным сценариям: подача воды осуществлялась на поверхность ловушки; расплав сливался в ловушку, предварительно наполненную водой; расплав охлаждался путем водяного орошения поверхности. После застывания расплава проводился широкий спектр исследований: оценивались тепловые параметры взаимодействия материалов и эффективность схемы охлаждения; изучался механизм стратификации расплава в ловушке; проводился анализ фрагментации имитатора кориума, его структуры и состава; исследовались изменения микроструктуры и физико-механических свойств образцов конструкционных материалов.

В одном из экспериментов FDP были реализованы условия, обеспечивающие медленную скорость охлаждения расплава в ловушке. При этом образцы конструкционных материалов были расплавлены и получен слиток, содержащий металлокерамические фрагменты – “metal/ceramics debris”. Было слито ~ 60 кг расплава и в результате его взаимодействия с установленными в ловушке образцами, последние были полностью расплавлены. На рисунках представлены модели сечений ловушки, а на фото – макроструктура сечения образовавшегося слитка.

По результатам постэкспериментальных исследований были выдвинуты предположения по сценарию событий при сливе расплава в экспериментальную ловушку:

1) Слив основной массы расплава происходит преимущественно одной порцией в течение короткого времени.

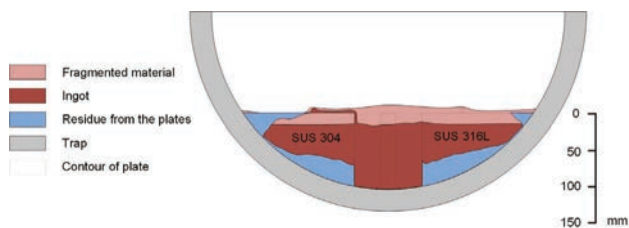
2) Расплав обладает хорошей текучестью.

3) Расплав, контактируя с пластинами, затвердевает на их поверхности, формируя корку вокруг пластин. После плавления стальных пластин контур их расположения сохраняется во всем объеме основного слитка кориума.

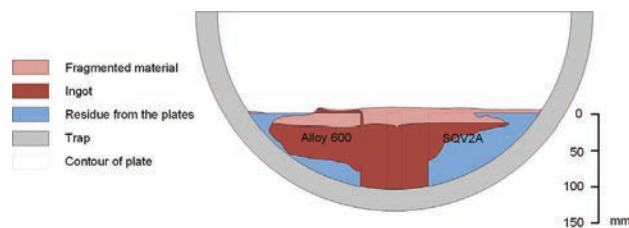
4) Затвердевание кориума происходит в первую очередь при контакте расплава с пластинами и дном ловушки.

5) Плавление материала пластин происходит за счет контактного теплообмена через слой затвердевшего кориума. Далее происходит оплавление пластин за счет передачи тепла от слитка. Часть расплавленного материала пластин проникает в зазор между дном ловушки и затвердевшей нижней поверхностью слитка кориума. Объем остатков пластин нержавеющей стали SUS304, SUS316 и сплава Alloy600 после расплавления и растекания составляет около 35% от исходного объема, а остатки пластин легированной стали SQV2A при тех же условиях составляют 68%. Расплавленный материал пластин путем диффузионного массопереноса проникает в стенки слитка кориума.

В другом эксперименте серии FDP расплав кориума был слит в ловушку, предварительно заполненную водой, а после слива выполнялось дополнительное охлаждение водой, подаваемой через форсунки на поверхность расплава, для быстрого охлаждения системы.



Сечение SUS304-SUS316L

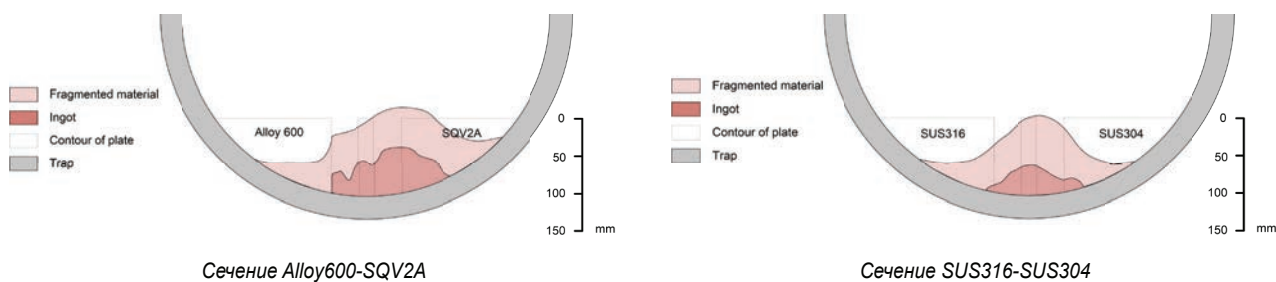


Сечение Alloy600-SQV2A

Модели сечения ловушки после слива расплава в воду



Макроструктура сечения слитка с металлокерамическими фрагментами



Модели сечений ловушки после быстрого охлаждения

После слива воды из ловушки было обнаружено, что материал в ловушке распределен неравномерно по объему. Большая часть затвердевшего расплава находилась в секторе пластин SQV2A и SUS316L. Модель стратификации расплава приведена на рисунке. На поверхности расплава наблюдался рыхлый материал, в массе которого фиксируются и крупные фрагменты размерами до 50 мм.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что основными компонентами фрагментированной части кориума являются твердые растворы $(U, Zr)O_2$ с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой двуокиси урана, фаза переменного состава с ГЦК решеткой, общую формулу которой можно представить в виде $Zr(U, V, C)_{1-x}$. Также установлено неоднородное распределение фазового состава материала для частиц разных размерных фракций. Частицы средних размеров (400 мкм=2,8 мм) характеризуются наличием ряда твердых растворов $(U, Zr)O_2$ с более высоким содержанием циркония вплоть до растворов на основе диоксида циркония с кубической или тетрагональной гранецентрированной решеткой.

Таким образом, при медленной скорости охлаждения расплава, находящегося в ловушке; образцы конструкционных материалов были расплавлены и получен слиток, содер-

жащий металлокерамические фрагменты – “metal/ceramics debris”. При быстрой скорости охлаждения наблюдалось незначительное оплавление образцов конструкционных материалов и был получен сильно фрагментированный застывший расплав (“soft debris”), состоящий из мелких частиц и конгломератов.

Для каждого из этих двух экспериментов была разработана и реализована индивидуальная процедура извлечения полученного застывшего модельного расплава и фрагментов конструкционных материалов. Кроме того, экспериментально-расчетным путем оценивалась скорость резки застывшего расплава: при выполнении основных резов и сверлений во время разделки слитка регистрировали время для каждого реза кориума инструментом из алмазного абразива. Для расчета скорости выполнения реза использовалось значение суммарного времени реза (за все заходы) и полная площадь поверхности полученного разреза. К сожалению, на результаты оценки скорости реза сильно влияют такие параметры, как скорость вращения режущего инструмента, сила подачи диска к материалу, наличие вязкого компаунда, параметры режущего инструмента (диаметр, толщина, размер абразива и др.) и т.п.



Переговоры с компанией Toshiba, 2019 г.

Результаты маломасштабных экспериментов

Исследования на стенде ВЧГ-135 были разделены на эксперименты по плавлению компонентов кориума с получением слитков заданного состава (серия МР); эксперименты по изучению отдельных эффектов взаимодействия затвердевшего расплава топливной композиции с конструкционными материалами на примере стали SUS-304 (серия SC) и эксперименты по оценке влияния повторного переплава на изменения структуры и свойств кориума, фрагментированного в результате взаимодействия с водой (эксперименты серии PD).

Стенд индукционного нагрева ВЧГ-135 предназначен для выполнения высокотемпературных материаловедческих исследований образцов небольших размеров.

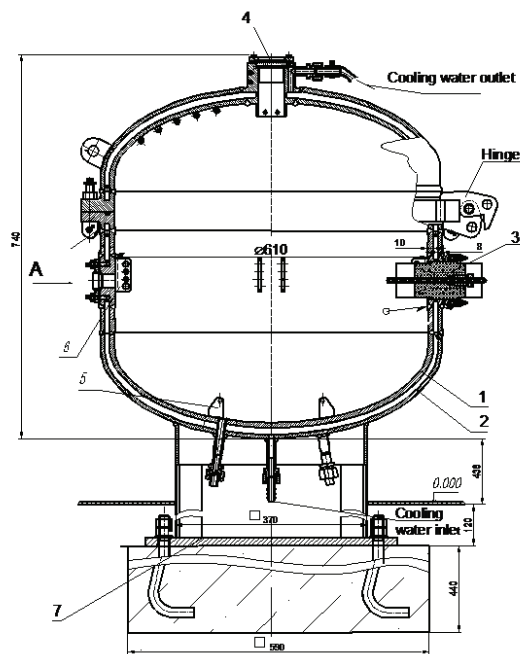
Предусмотрена возможность видеосъемки процесса нагрева и охлаждения образца через смотровое окно в крышке рабочей камеры, а также возможность отбора проб газа в процессе эксперимента. Рабочая камера оснащена резервными электрическими проходками для реализации различных электроизмерений в процессе эксперимента.

Экспериментальные сборки для высокотемпературных испытаний материалов на стенде представляют собой графитовые тигли (одинарные или двойные, в зависимости от задач) с установленными в них образцами и закрепленными на поверхности тиглей термоэлектрическими преобразователями с теплоизоляцией. В качестве основных средств измерения температуры в экспериментах используются термопары ВР5/20 и пирометры различных типов.

На рисунке показаны варианты экспериментальных устройств, применяемых в маломасштабных экспериментах, и схемы загрузки материалов

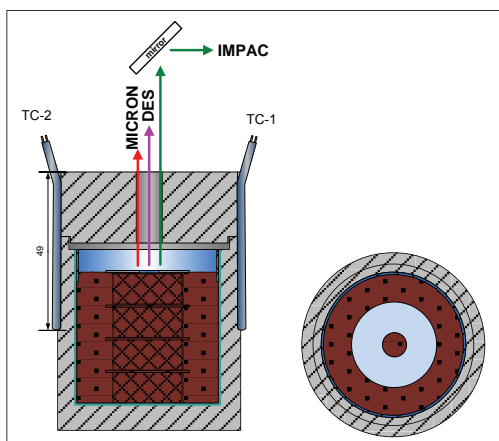
В экспериментах по получению слитков кориума заданного состава в качестве компонентов кориума использовались измельченные таблетки обедненного диоксида урана (модель ядерного топлива), фрагменты твэла из сплава Э110 (Zr:99% + Nb:1%), стружка из стержней чистого (иодидного) циркония, высокодисперсный порошок ЗРО-1 ($ZrO_2:95\div97\% + HfO_2:4\div2,2\%$) и порошок материала поглотителя B_4C . В экспериментах варьировались соотношения компонентов.







При получении расплава исследуемой композиции определялись температуры фазовых превращений и, в последующем, изучался его фазовый состав. На основании полученных экспериментальных данных японскими коллегами была построена диаграмма состояния UO_2 -Zr, являющаяся актуальной для основной части композиции кориума в экспериментах серии МР (приведена на рисунке). В случае двух- и более компонентной системы, состоящей из компонент с существенно различными свойствами, подобная задача является сложной. В частности, в экспериментах с компонентами, имеющими значительно различную плотность, возможно пространственное разделение композиции с нарушением равенства соотношения компонент по высоте.



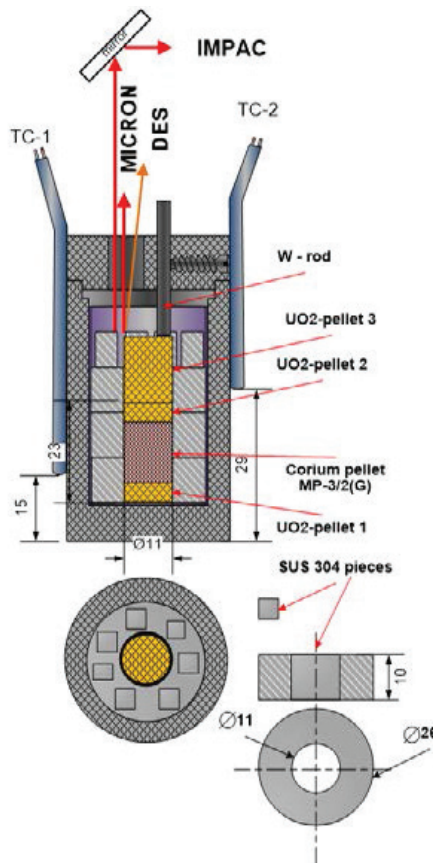
1 – внутренний кожух силового корпуса; 2 – внешний кожух силового корпуса; 3 – токоподвод индуктора; 4 – оптическое окно; 5 – скобы для крепления экспериментальной сборки; 6 – держатели электродов; 7 – основание

Рабочая камера ВЧГ-135



	Graphite crucible With protective coating
	Graphite gap
	Cylindrical plates and disk of E110 alloy
	Mixture of UO ₂ + B ₄ C + Zr
	Pellets from the mixture of UO ₂ + B ₄ C + Zr
	Thermocouple WR 5/20 in Ta protective tube

а) для получения имитатора кориума в серии MP



б) для моделирования процесса взаимодействия кориума со сталью в серии SC

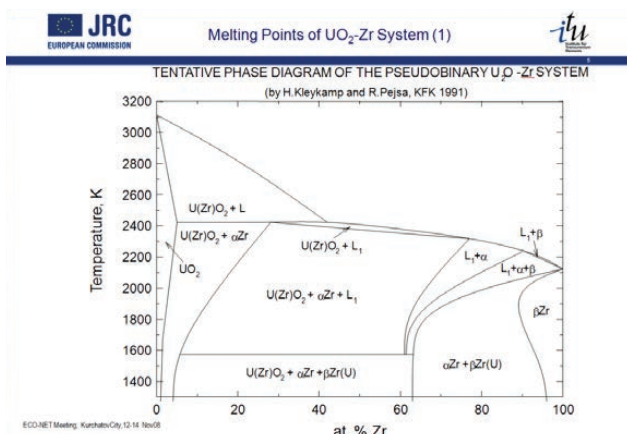
Варианты экспериментальной сборки и схемы загрузки материалов

При моделировании высокотемпературного взаимодействия кориума со сталью SUS304 исследовался диффузионный слой: оценивалось проникновение компонентов стали (Fe и Cr) в кориум как по количеству, так и по глубине. Обнаружено, что взаимодействие кориума с жидким металлом привело

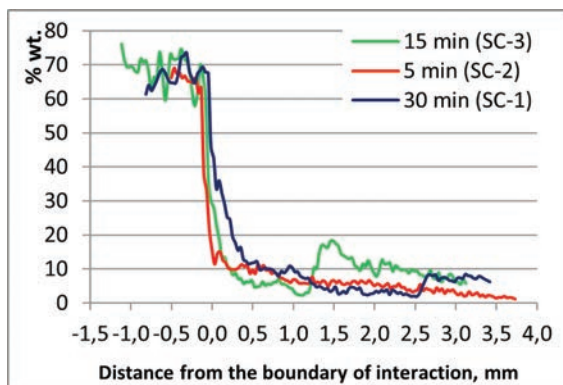
к высвобождению и переносу U и Zr из контактирующего слоя в жидкий металл, где они до глубины 1 мм практически равномерно распределены в количестве 7 масс.%, а максимальная глубина проникновения стали в кориум достигает 5 мм (см. приведенные графики).

Обнаружено формирование многослойных диффузионных структур в зоне взаимодействия стали с кориумом, которое зависит от химического состава и структурно-фазового состояния материала кориума. Измерения микротвердости показало, что на границе взаимодействия в части кориума зафиксировано снижение микротвердости. Данный факт связан с диффузией материала стали в кориум, что подтверждается результатами линейного распределения элементов ЭДС-анализа.

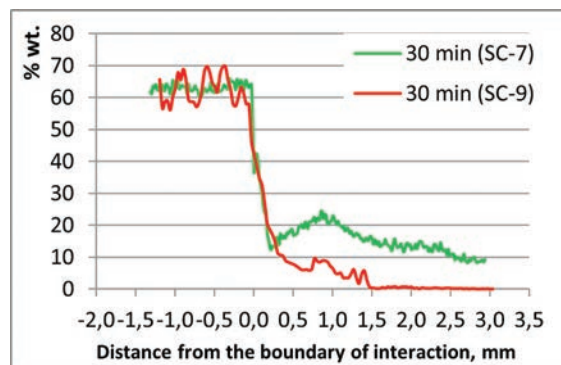
При исследовании образцов кориума, полученных в результате повторного переплава, ЭДС-картирование кориума показало, что частицы разных размеров имеют разный элементный состав, а СЭМ-исследования кориума показали, что в нем существуют три основных типа структур: однофазная, двухфазная и «пористая», состоящая из плавленых частиц. В структуре материала имеются участки с пористой структурой, образование которых объясняется спеканием мелкоди-



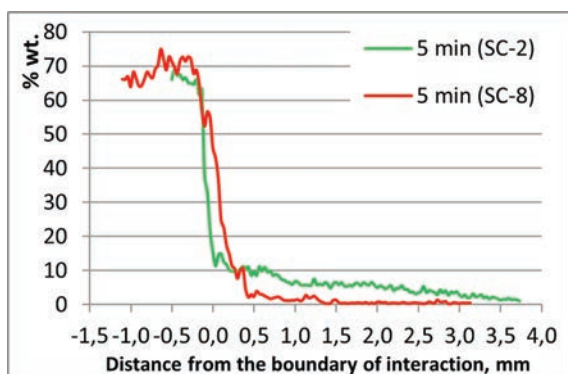
Фазовая диаграмма UO₂-Zr



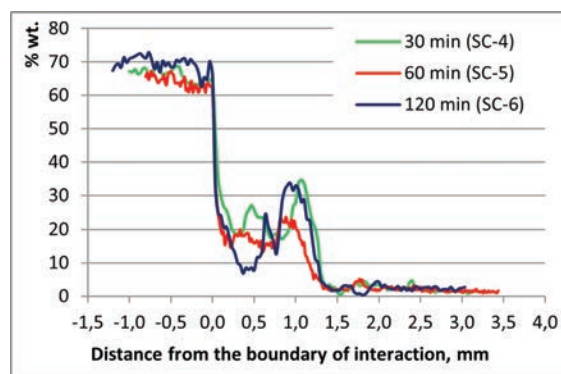
а) SC-4, SC-5 и SC-6 при 1300 °C



б) SC-1, SC-2 и SC-3.1 при 1600–1650 °C



в) SC-7 и SC-9 при 1500 °C



г) SC-8 и SC-2 при 1600 °C и 1650 °C

Глубина проникновения железа в материал кориума после эксперимента серии SC при одинаковых температурных режимах

сперсных частиц. Также обнаружены следы вязкого течения металлической части шихты.

Исследование фазового состава частиц после эксперимента PD показало, что основными компонентами кориума являются твердые растворы (S.s.) $(U, Zr)O_2$ с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой двуокиси урана и фаза переменного состава с ГЦК решеткой, общую формулу которой можно представить в виде $Zr(O, B, C)_{1-x}$.

По результатам анализа дифрактограмм материала до и после экспериментов серии PD можно заключить, что в процессе спекания происходит «выравнивание» разнообразия фаз материала, имевшегося в исходной смеси. Результирующий состав твердых растворов сместился к составу $U \sim 0,7$ $Zr \sim 0,3$ O_2 . При этом количественное соотношение фаз $(U, Zr)O_2$ и $(Zr, U)(B, O, C)_{1-x}$ осталось примерно тем же. Такое изменение может происходить как в результате диффузионных процессов в пределах одной частицы, так и в результате обмена через жидкую фазу.

Потенциал сотрудничества по проекту FD

Для выполнения мероприятий по выводу из эксплуатации АЭС «Фукусима-1» существует необходимость в формировании такой системы, которая позволит безопасно и эффективно помещать извлекаемое из энергоблоков № 1–3 поврежденное топливо (debris) в соответствующие емкости, осуществлять его перемещение и хранение. В связи с этим «Международная исследовательская организация по деко-

миссии» (IRID) осуществляет вспомогательную деятельность по «Разработке технологий помещения в емкости, перемещению и хранению поврежденного топлива».

При этом ведется проработка вопросов, связанных с формированием такой системы, которая позволила бы выполнять в воде резку поврежденного топлива, которое, как считается, имеется в силовом корпусе реактора и герметичном корпусе реактора (контейменте), размещать фрагменты поврежденного топлива в емкостях с ячеистой структурой (транспортных емкостях), перемещать их в реакторный (операционный) зал реакторного здания и иные здания, помещать в емкости для хранения и осуществлять его хранение.

Для создания робототехники для извлечения застывшего расплава активной зоны из контейнента ЛВР на АЭС «Фукусима-1», необходимы были данные о стойкости материалов при контакте с кориумом и структурно-фазовом состоянии расплава при его застывании. Логическим продолжением проекта Fukushima Debris является направление для подробного изучения механизма старения кориума. В настоящее время в РГП НЯЦ РК имеется уникальная подборка образцов кориума, получаемого ежегодно, начиная с 1990 года в необходимом количестве, что позволит провести анализ изменения структуры, плотности, твердости и других характеристик застывшего расплава.

Юлия Бакланова

В сотрудничестве с Японской атомно-энергетической компанией (JAEC)



На протяжении практически всего существования РГП НЯЦ РК осуществляется плодотворное сотрудничество с крупными японскими компаниями, являющимися признанными лидерами в области мирного использования атомной энергии.

С одной из таких компаний, а именно с Японской атомно-энергетической компанией (Japan Atomic Power Company – JAEC), в декабре 1995 года был заключен первый контракт, в рамках которого планировалось выполнение работ по обоснованию возможности проведения на реакторе ИГР экспериментов, направленных на исследование вопроса контролируемого перемещения расплава топлива. Заключение контракта стало отправной точкой многолетнего и успешного проекта EAGLE.



14 сентября 1998 года был подписан протокол между РГП НЯЦ РК и JAPC о начале работ по проекту EAGLE. Целью проекта являлось проведение серии экспериментов на специально созданных вне реакторных стендах и на реакторе ИГР с плавлением модельных ТВС разрабатываемого в Японии энергетического реактора на быстрых нейтронах, для подтверждения принятой японскими проектировщиками концепции невозможности образования вторичной критической массы при тяжелой аварии реактора с плавлением активной зоны. Таким образом, в 1998 году произошло принципиальное изменение программы работ по проекту EAGLE – она была расширена за счет включения в нее вне реакторных экспериментов, а общая длительность ее выполнения была оценена в семь лет.

В связи с этим в 1999 году началось строительство стенда, проектирование и изготовление вне реакторных экспериментальных устройств. Открытие стенда, получившего одноименное с проектом EAGLE название, состоялось в мае 2000 года. В церемонии открытия приняли участие министр Школьник В.С., Председатель комиссии по атомной энергии Японии проф. Фуджи-ё, Генеральный директор РГП НЯЦ РК Черепнин Ю.С., представители местной и областной администрации.

За успешное выполнение работ по созданию стенда ряд сотрудников предприятия были награждены грамотами Министерства.

Следует отметить, что до 2000 года финансирование данных работ осуществлялось JAPC, а с 2000 года работы

выполнялись по пятилетнему контракту между JNC и РГП НЯЦ РК.

JAPC с самого начала участвовала в качестве электроэнергетической компании в проекте EAGLE. После того, как казахстанская сторона обратилась к JAPC с просьбой о техническом содействии в проработке вопроса создания атомной энергетики в Казахстане, в 2005 году между РГП НЯЦ РК и JAPC был подписан Меморандум «О сотрудничестве в области мирного использования атомной энергии и атомно-энергетических технологий».

В рамках технического сотрудничества на основании данного Меморандума был создан документ под названием «Требования эксплуатирующей организации Республики Казахстан» (RKURD), который представляет собой перечень требований, выполнение которых является необходимым для успешной реализации планов по строительству атомных электростанций. Кроме основных положений, которые должны быть учтены при проектировании АЭС, в документе с учетом специфических особенностей Казахстана приведены конкретные примеры проектных решений наиболее современных атомных электростанций. Мы уверены, что RKURD будет полезным материалом при дальнейшем рассмотрении и оценке в Казахстане кандидатных типов реакторов.

В 2006 году было подписано «Совместное заявление о дальнейшем развитии дружбы, партнерства и сотрудничества между Казахстаном и Японией», в котором Главы двух государств были едины в стремлении развивать сотрудничество в области мирного использования атомной энергии.

Были также подписаны Меморандумы о продвижении сотрудничества в области использования атомной энергии и о сотрудничестве Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан и Управления по ресурсам и энергетики Министерства экономики и промышленности Японии о сотрудничестве в деле подготовки кадров для внедрения в Казахстане легководных реакторов.

Затем, в 2007 году был подписан «Меморандум о техническом сотрудничестве в деле создания атомной энергетики в Казахстане» между РГП НЯЦ РК и JAPO. В соответствии с ним и на основе имеющихся у казахстанской стороны материалов было проведено технико-экономическое исследование (ТЭИ), направленное на изучение возможностей строительства АЭС в Казахстане.

В рамках разработки ТЭИ на основе обзора существующей инфраструктуры, предыдущего опыта строительства и эксплуатации АЭС в г. Актау, ранее выполненного технико-экономического обоснования строительства энергоисточника в районе оз. Балхаш и ряда других показателей, в качестве перспективных регионов для строительства АЭС были рассмотрены пять регионов: районы г. Актау, г. Костанай, г. Курчатов, г. Тараз и район оз. Балхаш. Для каждого предполагаемого района строительства были исследованы ключевые характеристики, необходимые для планирования и разработ-

ки последующих мероприятий по размещению АЭС в Казахстане в будущем. В результате были выполнены почти все необходимые исследования, которые требуется реализовать на стадии проектного планирования в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ. Также были рассмотрены вопросы выбора единичной мощности блоков АЭС, выполнены оценки резервов первичного и вторичного регулирования энергосистемы для двух вариантов значений коэффициентов запаса в соответствии с общемировыми подходами в части проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем и в соответствии с действующими на тот момент в Республике Казахстан электросетевыми правилами. На основе анализа перспективных проектов АЭС, обеспечивающих необходимые уровни ядерной, радиационной и экологической безопасности, а также экономическую эффективность производства электроэнергии был осуществлен предварительный выбор кандидатных энергетических реакторов, пригодных для использования в Республике Казахстан. Кроме того, была выполнена оценка сметной стоимости и технико-экономических показателей АЭС, осуществлен финансовый анализ проекта и анализ экономической эффективности инвестиций. В процессе работы применены расчетные методы, используемые при проведении финансово-экономического анализа в Республике Казахстан, а также методология Организации экономи-



THE 1ST TRAINING COURSE FOR REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN 2008
At Training Center Of The Japan Atomic Power co. Jan 15, 2008





ческого сотрудничества и развития (OECD). Рассмотрены схемы организации финансирования строительства АЭС и возможный план реализации проекта. На основании обзора мирового опыта эксплуатации АЭС определены возможные социально-экономические последствия строительства АЭС в Республике Казахстан.

Министром энергетики и минеральных ресурсов Казахстана и парламентским заместителем министра экономики и промышленности Японии в 2008 году был подписан Меморандум о сотрудничестве в освоении месторождений урана, в атомной энергетике, производстве ядерного топлива, совместных исследованиях в области передовых атомно-энергетических технологий и т.д.

В 2010 году между двумя странами было заключено межправительственное «Соглашение о сотрудничестве в области мирного использования атомной энергии, а в 2012 году Министром индустрии и новых технологий Казахстана и Министром экономики и промышленности Японии подписан «Меморандум об укреплении экономических связей между Казахстаном и Японией».

В феврале 2013 года был подписан новый Меморандум о взаимопонимании в отношении сотрудничества, о дальнейшем продолжении сотрудничества в проведении ТЭО для строительства АЭС, в строительстве АЭС, в оказании помощи по эксплуатации АЭС, в подготовке кадров и т. д.

Стороны договорились сотрудничать в комплексной оценке ядерно-энергетической системы (ИНПРО ОЯЭС) Казахстана для определения соответствия выбранного варианта развития ядерно-энергетической системы национальным критериям устойчивого развития, для обеспечения стратегического планирования и принятия решений по долгосрочному развертыванию атомной энергетики в РК.

Укрепляя долгосрочные отношения и полагаясь друг на друга, НЯЦ РК, JAPC и MUS использовали свой опыт и знания в ядерной сфере для воплощения перспектив получения энергии при помощи ядерных технологий в Республике Казахстан.

В 2018 году были проведены технико-экономические исследования по перспективам создания в Казахстане атомной тепловых электростанции на базе японского проекта высокотемпературного газового реактора, который дает возможность высокоэффективного совместного производства электроэнергии, водорода и теплоснабжения.

Необходимо отметить, что результаты проведенных исследований были востребованы при разработке в 2018 году Маркетингового раздела технико-экономического обоснования строительства АЭС в Республике Казахстан, в частности, при выборе района размещения будущей АЭС.

*Людмила Ерыгина
Елена Котляр*

Казахстанско-японское сотрудничество в области подготовки кадров по реакторным технологиям



Казахстан и Япония, вопреки географической удаленности, находят общий язык в важном вопросе – подготовке кадров для атомной отрасли и науки. Это сотрудничество не только демонстрирует стремление к обмену знаниями и опытом, но и подчеркивает важность международного партнерства в развитии отрасли. В данной статье рассмотрены ключевые аспекты этого взаимовыгодного партнерства в рамках совместной программы подготовки кадров в области реакторных технологий и его значимость для обеспечения устойчивого развития атомной энергетики в обеих странах.

В рамках сотрудничества обе страны активно обмениваются опытом и передовыми технологиями в области ядерной энергетики. Казахстан, обладая богатыми запасами урана и значительным опытом в области ядерных технологий, выступает важным партнером для Японии, которая активно развивает свою атомную энергетику. В свою очередь, Япония, имея передовые технологии и богатый опыт в этой области, может предложить Казахстану современные методики обучения и подготовки специалистов.

Одним из ключевых направлений этого сотрудничества является подготовка кадров для атомной энергетики. Обе страны признают важность высококвалифицированных специалистов для безопасного и эффективного функционирования атомных электростанций. Поэтому Национальный ядерный центр Республики Казахстан активно сотрудничает с Японским агентством по атомной энергии в области подготовки кадров, повышения квалификации и проведения совместных обучающих мероприятий.

Учебный курс «Реакторные технологии» проводится с 2015 года на базе РГП НЯЦ РК в г. Курчатове с участием японских специалистов в атомной отрасли. Основными координаторами и лекторами курса являются сотрудники РГП НЯЦ РК, имеющие многолетний опыт работы.

Данный учебный курс является одним из звеньев программы подготовки лектор-инструкторов для азиатских стран, планирующих создание или развивающих атомную энергетику и учрежден в 1996 году в Центре подготовки кадров для атомной отрасли при финансовой поддержке Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий Японии. Основные задачи





программы направлены на продвижение международного сотрудничества, повышение эффективности и результативности подготовки кадров для атомной отрасли и создание последовательной и устойчивой системы подготовки кадров. Программа включает следующие направления: «Реакторные технологии», «Радиационный мониторинг», «Готовность к ядерным и радиологическим авариям». Учебный курс уже в десятый раз проводится на базе филиала «Институт атомной энергии».

Для организации курса привлекаются специалисты Национального ядерного центра РК в качестве координаторов, инструкторов практических занятий и лекторов курса. Большая часть специалистов из числа координаторов и лекторов прошли обучение в ЯАЕА по программе подготовки инструкторов. Программа лекционных занятий содержит лекции специалистов РГП НЯЦ РК и Агентства по атомной энергии Японии.

Уникальной возможностью учебного курса является проведение практических занятий и технических туров на объекты РГП НЯЦ РК, в частности, посещение бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона расположенных на нем комплексов исследовательских реакторов ИВГ.1М и ИГР.

Программа учебного курса содержит уникальные лекции специалистов Национального ядерного центра РК и экспертов Агентства по атомной энергии Японии. Лекции содержат широкий круг тем по технологиям ядерного топлива, реакторному материаловедению, переработке топлива и обращению с радиоактивными отходами, физике реакторов и безопасности ядерно-энергетических установок.

“ Директор Центра развития человеческих ресурсов в ядерной энергетике Доктор Йошихиро Накао: ЯАЕА реализует Программу подготовки инструкторов (Instructor Training Program – ИТР), которая готовит преподавателей в области ядерной энергетики в Азии по контракту с Министерством образования, культуры, спорта, науки и технологий Японии с 1996 года. ИТР готовит преподавателей по трем направлениям: реакторные технологии, мониторинг радиоактивности окружающей среды и готовность к ядерным/радиологическим чрезвычайным ситуациям. Казахстан участвует в ИТР с 2010 года. В области реакторных технологий на данный момент 29 человек из Казахстана приняли участие в курсах подготовки инструкторов (Instructor Training Course – ИТС и продвинутый Advanced-ИТС), проводимых в Японии. Кроме того, 13 раз в Казахстане были проведены курсы повышения квалификации для подготовки местных кадров атомной отрасли, а для поддержки учебных курсов было направлено 30 экспертов из Японии. Благодаря обучению в Японии и Казахстане прошло обучение большое количество казахстанских исследователей и инженеров. Казахстан и Япония наладили очень хорошее сотрудничество в развитии персонала в атомной отрасли. ”



Содержание и уровень лекций находят интерес и практическую пользу у сотрудников отечественных ВУЗов и НИИ. Так, в качестве слушателей в учебном курсе принимали участие преподаватели и сотрудники НАО «Университет имени Шакарима города Семей», НАО «Восточно-Казахстанский Университет им. С. Аманжолова» и НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева».

В ходе обучения обеспечивается высокий уровень представляемой информации. Каждый участник проходит вступительное тестирование и сдаёт финальный экзамен. Год за годом выпускники нашего учебного курса демонстрируют высокую квалификацию и уровень знаний. В результате обучения слушатели осваивают основные аспекты современных реакторных технологий, принципы физики реакторов и материаловедения, новые методы переработки использованного топлива и другие важные аспекты, связанные с конструкцией и материалами для современных ядерных установок. Курс завершается аттестацией слушателей, на которой они подтверждают полученные знания и навыки.

Качественный уровень квалификации группы лекторов и инструкторов курса подтверждается их большим опытом и компетенциями. Тем не менее, с целью поддержки профессионального уровня лекторов и развития учебного курса на постоянной основе проводится повышение их квалификации при поддержке Центра развития человеческих ресурсов в атомной отрасли. Курсы по повышению квалификации проходят в г. Токай на базе Японского агентства по атомной энергии. Большая часть наших сотрудников из числа координаторов и лекторов ранее прошли обучение. Ежегодно сотрудники предприятия проходят обучение, посвященное основным направлениям в области реакторных технологий, где углубленно изучают физику реакторов, материаловедение и инженерии конструкционных материалов и технологии эксплуатации перспективных ядерно-энергетических установок.

В этом направлении японской стороной разработаны две программы повышения квалификации. Первая, основная, программа посвящена большинству ключевых тем и вопросам в области реакторных технологий, с учетом актуальных на сегодня

нашний день поколений реакторных установок. Теоретическая часть учебного курса подкреплена практическими занятиями и длится шесть недель.

С целью выработки устойчивой системы повышения квалификации японской стороной разработана вторая, продвинутая (advanced training course on “Reactor Engineering”) программа учебного курса. Тренинг-курс направлен на повышение квалификации инструкторов, прежде участвовавших в базовом тренинг-курсе. Курс направлен на более детальное и углубленное изучение современных тенденций, в том числе и обмен практическим опытом между специалистами атомной отрасли. При этом при разработке учебной программы японские эксперты учитывают потребности и запросы казахстанской стороны для повышения эффективности и практической значимости получаемых знаний и опыта. В данном курсе в ноябре 2023 года принял участие начальник службы, PhD Цхе В.К.





Выступление с презентацией о текущем состоянии в области подготовки кадров для атомной отрасли

Начальник службы, PhD Цхе В.К.: «В условиях сжатого времени Центр подготовки кадров Японского агентства по атомной энергетике составил достаточно емкое и гармоничное расписание лекционных и практических занятий, а также технических туров. Что же касается теоретического материала, следуя актуальным трендам, уклон был сделан в сторону изучения особенностей проведения тепло-гидравлических и нейтронных расчетов с использованием открытого компьютерного кода и его модификаций, преимущественно японского производства (PHITS-code). Вместе с тем были представлены лекции, на которых рассматривались вопросы, касающиеся радиационного повреждения материалов и специфики технологий исследования ядерного топлива.

Особое впечатление на меня произвел технический тур в город Фукусима и на одноименную, печально известную АЭС. В ходе всего технического тура я испытывал

смешанные ощущения. Во-первых, стоя на импровизированной смотровой площадке в 300 метрах от поврежденных энергоблоков, удалось вживую увидеть и оценить масштабы произошедшей трагедии. Во-вторых, в течение всего пребывания на территории разрушенной АЭС, восхитило героическое преодоление обстоятельств и высокий профессионализм всех причастных к ликвидации последствий аварии на АЭС Фукусима-1. Отдельно стоит отметить попытки мирового сообщества найти решение переработки радиоактивных жидких отходов, которые накопились и продолжают накапливаться в специальных емкостях, расположенных на территории АЭС (около 1,3 млн тонн). Для этого в эксплуатацию была введена система очистки загрязненной воды от радионуклидов и различных радиоактивных материалов – The Advanced Liquid Processing System (ALPS)».



«Технический тур на АЭС Фукусима-1 (на заднем фоне разрушенные энергоблоки АЭС)»

Необходимо отметить, что многолетнее и устойчивое сотрудничество между JAEA и НЯЦ РК в области подготовки кадров для атомной отрасли направлено не только на обучение лектор-инструкторов, но и дает возможность уже подготовленным инструкторам совершенствовать навыки и повышать компетентность посредством программы *Advanced Instructor Training Course on "Reactor Engineering"*.

Оценка результатов учебного курса проводится ежегодно на руководящем совещании с участием руководства

РГП НЯЦ РК и Центра развития человеческих ресурсов в ядерной энергетике и координаторов курса с обеих сторон.

Заместитель генерального директора по науке РГП НЯЦ РК, PhD Витюк В.А.: «В свете постоянного развития атомной отрасли и планов строительства атомной электростанции в Казахстане растет потребность в квалифицированных специалистах. Проведение учебных курсов по реакторным технологиям становится все более актуальным для подготовки кадров в атомной отрасли. Эти курсы играют ключевую роль в обеспечении высокого уровня знаний и компетенций, необходимых для успешной работы в этой области. Особое внимание уделяется вопросам безопасности и соблюдению норм и стандартов в атомной отрасли. Учебные курсы помогают специалистам развивать навыки по обеспечению безопасности ядерных установок и предотвращению аварий.

Участие зарубежных экспертов и организаций в проведении учебных курсов способствует обмену опытом и передаче передовых практик. Это способствует развитию международного сотрудничества в сфере ядерной энергетики».

Первый заместитель директора филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, PhD Бакланов В.В.: «С учетом быстрого темпа развития технологий в ядерной энергетике, специалисты отрасли должны постоянно совершенствовать свои знания и навыки. Учебные курсы предоставляют возможность



«Церемония вручения дипломов, свидетельствующих об окончании тренинг-курсов *Advanced Instructor Training Course on "Reactor Engineering"*»





освоить последние тенденции и инновации в области реакторных технологий. Участие зарубежных экспертов и организаций в проведении учебных курсов способствует обмену опытом и передаче передовых практик, а также развитию международного сотрудничества в сфере ядерной энергетики».

В целом, проведение учебных курсов по реакторным технологиям, в том числе по подготовке кадров в атомной отрасли, является крайне актуальным и необходимым шагом для обеспечения устойчивого развития ядерной энергетики в будущем. Специалисты казахстанских организаций, участвуя в данных курсах, наращивают свои компетенции в фарватере развития отечественной ядерной отрасли в целом.

JAEA активно практикует приглашение на международные курсы в Японию в качестве зарубежных лекторов специалистов из азиатских стран, ранее прошедших данный курс в качестве слушателя и показавших отличную теоретическую и практическую подготовку по специальности, а также знание английского языка.

В 2023 году JAEA впервые по направлению «Реакторные технологии» пригласили меня в г. Токай, Япония в качестве приглашенного лектора курса для зарубежных специалистов. В рамках учебного курса я читал лекцию в течение двух дней для участников стран, входящих в японскую программу подготовки инструкторов. Это была

большая честь и уникальный опыт, в котором подготовка и участие позволили повысить квалификацию и внести свой вклад в развитие человеческих ресурсов в области реакторных технологий.

В целом организация и проведение учебных курсов для специалистов в области реакторных технологий и развития человеческих ресурсов в атомной отрасли имеет несколько важных причин. В первую очередь это связано с обеспечением квалифицированных кадров. Учебные курсы позволяют обучать специалистов, которые могут эффективно работать в атомной отрасли. Эти специалисты не только понимают технические аспекты реакторных технологий, но и имеют навыки в области безопасности, управления и регулирования. Также проведение учебных курсов с участием зарубежных специалистов способствует обмену опытом и передаче передовых практик, что способствует развитию международного сотрудничества в области ядерной энергетики.

Таким образом, проведение учебных курсов в данной области играет ключевую роль в подготовке высококвалифицированных специалистов, обеспечивая безопасное и эффективное функционирование атомной отрасли.

Арман Миниязов

Международный научно-технический семинар «30 лет казахстанско-японского научно- технического сотрудничества в области мирного использования атомной энергии»



С 4 по 7 июня 2024 года в городе Курчатове в Национальном ядерном центре Республики Казахстан (РГП НЯЦ РК) прошел международный научно-технический семинар «30 лет казахстанско-японского научно-технического сотрудничества в области мирного использования атомной энергии» с участием Президента Агентства по атомной энергии Японии г-на Koguchi, руководителей и специалистов организаций Marubeni Utility Services, Ltd. Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, Japan Atomic Power company, Toyo Tanso Co., Ltd. и др.

В адрес участников семинара поступили приветствия от Акима области Абай Н.Т. Уранхаева, Министра энергетики РК А.М. Саткалиева, вице-министра энергетики РК С.К. Есимханова, Президента ядерного общества Казахстана В.С. Школьника, Чрезвычайного и Полномочного Посла Японии в Республике Казахстан Д. Ямады.

На семинаре подведены итоги 30-летнего сотрудничества Национального ядерного центра Республики Казахстан и японских организаций, обсуждены перспективы и направления дальнейшего сотрудничества.

«30 лет – это достаточно большой срок и хорошая дата, которую мы сегодня отмечаем. Сегодня уже достаточно широкий состав японских организаций, с которыми мы проводим совместные исследования. Главный итог – это то, что мы вышли на новый уровень взаимодействия, где есть доверие, понимание, оценка знания того, что мы можем и как можем делать. И что мы и дальше будем развивать наши отношения, – отметил Эрлан Батырбеков, генеральный директор НЯЦ РК. – Сегодня мы продолжаем наше успешное сотрудничество, обсуждаем перспективы совместных исследований на экспериментальной базе РГП НЯЦ РК. Например, сейчас готовится к подписанию новый контракт EAGLE-3post с Marubeni Utility Services и Агентством по атомной энергии Японии по изучению возможности проведения новых реакторных и вне реакторных экспериментов по исследованию

безопасности реактора 4-го поколения на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, проектируемого в Японии. Исследования будут проведены на экспериментальной базе РГП НЯЦ РК».

Высокую оценку совместным работам дал Президент Агентства по атомной энергии Японии Когучи Масанори: «Я буквально второй год нахожусь на должности руководителя Агентства по атомной энергии Японии и всё, что до этого времени было реализовано, не видел лично. Однако считаю, что работа была проведена на очень высоком уровне. Оцениваю результаты высоко. Эти исследования будут играть большую роль для разработки более безопасных быстрых реакторов будущего. Также мы знаем, что в Казахстане сейчас проводится обсуждение возможного принятия решения о строительстве атомной электростанции. Наше Агентство по атомной энергии и другие японские организации, которые относятся к этой отрасли, могут помочь в этом».

Сегодня атомная энергетика является одним из важных элементов успешного социально-экономического развития страны.

Уверены, что впереди у нас еще много совместных проектов и результатов работ, которые внесут свой достойный вклад как в развитие отрасли, так и в экономическое благополучие наших стран.



TEPCO получила разрешение на загрузку ядерного топлива в реактор №7 самой мощной в мире АЭС Касивадзаки-Карива



Японская компания Tokyo Electric Power (TEPCO) начала загрузку ядерного топлива в реактор на простаивающей АЭС Касивадзаки-Карива, расположенной в префектуре Ниигата, сообщило информационное агентство Синьхуа.

Компания TEPCO сообщила, что 15 апреля 2024 г. примерно с 16:00 по местному времени ею начаты работы по переносу тепловыделяющих сборок (ТВС) в реактор №7 на АЭС Касивадзаки-Карива, а Управление по регулированию атомной энергетики Японии дало соответствующее разрешение.

В планах загрузить в реактор 872 ТВС, на это уйдет около 2-х недель. В настоящее время ТВС хранятся в бассейне на территории АЭС. Компания подтвердит безопасность, проверив работу регулирующих стержней и систем аварийного охлаждения активной зоны в течение месяца после загрузки.

По данным агентства, оператор АЭС редко когда начинает перегрузку без согласия местных властей и пока остается неясным, сможет ли TEPCO возобновить работу реактора, т.к. для его перезапуска необходимо получить соответствующее разрешение.

Любопытно, что перед железнодорожным вокзалом г. Ниигата собрались около 60 человек, которые вручили письмо протеста представителю компании TEPCO и устроили демонстрацию против работ по загрузке.

По данным местных СМИ, Центральное правительство Японии добивается одобрения от губернатора г. Ниигаты на перезапуск АЭС, т.к. стремится возобновить производство атомной энергии с учетом дефицита энергоресурсов в стране.

TEPCO еще ни разу не перезапускала эксплуатируемых ею атомных реакторов, которые были остановлены после аварии на АЭС Фукусима-1.

АЭС Касивадзаки-Карива:

- расположена на берегу Японского моря;
- находится на 1-м месте в мире по совокупной мощности своих 7 ядерных реакторов, которая превышает 8,2 ГВт;
- 5 кипящих ядерных реакторов (BWR),
- 2 улучшенных кипящих ядерных реактора (ABWR);
- все энергоблоки на станции остановлены;
- в 2023 г. комитет по контролю за атомной энергетикой Японии принял решение отменить фактический запрет на эксплуатацию.

В Японии частично функционируют 10 из 17 существующих в стране АЭС. Энергоблоки запускаются по очереди на разных станциях. 28 августа 2023 г. перешел в полноценный режим работы энергоблок №1 старейшей в Японии АЭС Такахама в префектуре Фукуи.

А. Игнатьева, специальный корреспондент ИА Neftegaz.RU

На АЭС Аккую отправили инновационное оборудование для обращения с отработавшим ядерным топливом – ТУК-137Т.А1

Росатом отправил на строящуюся в Турции АЭС Аккую инновационное оборудование для обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Об этом сообщает пресс-служба госкорпорации.

В г. Выкса (Нижегородская обл.) состоялась отгрузка головного транспортно-упаковочного контейнера ТУК-137Т.А1, а также оборудования для обращения с ним станции. Разработка и производство инновационных контейнеров ведется в рамках развития продуктового направления Росатома «Сбалансированный ядерный топливный цикл (ЯТЦ)». Это направление предусматривает создание для стран-заказчиков безопасной и экономически эффективной системы обращения с ОЯТ и с продуктами его переработки.

ТУК-137Т.А1 – это контейнер нового поколения:

- предназначен для обращения с ОЯТ после его выгрузки из бассейна выдержки АЭС Аккую;
 - упаковочная емкость обеспечивает размещение 18 отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), их транспортировку и хранение;
 - контейнер прошел необходимые испытания на заводе-изготовителе и сертифицирован российским регулятором на соответствие отечественным требованиям безопасности (НП-053-16) и международным нормам МАГАТЭ (SSR-6, Rev. 1);
 - оборудование изготовлено на производственной площадке Русполимета;
 - заказчиком выступила компания Техснабэкспорт (дивизион «Сбыт и трейдинг» Госкорпорации Росатом).
- Следующий этап – холодные технологические испытания на площадке АЭС.

А. Игнатьева, специальный корреспондент ИА Neftegaz.RU



Росатом



Росатом

Нидерландская Thorizon и бельгийская Tractebel заключили соглашение о разработке жидкосолевого реактора Thorizon OneA

В проекте реактора Thorizon в качестве топлива будут использовать смесь тория и долгоживущих элементов из переработанного ОЯТ.



Нидерландская компания Thorizon заключила соглашение с бельгийской компанией Tractebel (дочка французской Engie) о совместной разработке и продвижении проекта жидкосолевого реактора Thorizon One. Об этом сообщила пресс-служба Thorizon.

Thorizon, дочка NRG – оператора изотопного реактора High Flux Reactor в Петтене, разрабатывает реактор на расплавленной соли (MSR) с тепловой мощностью 250 МВт и электрической мощностью 100 МВт. По планам компании, пилотную реакторную установку планируется построить до 2035 г. В проекте реактора Thorizon в качестве топлива будут

использовать смесь тория и долгоживущих элементов из переработанного ОЯТ, что позволит использовать этот тип реактора для утилизации опасных долгоживущих изотопов. Отличительной чертой проекта Thorizon One является его активная зона, состоящая из отдельных блоков, называемых «картриджами», каждый из которых заменяется через 5–10 лет.

По мнению Thorizon, эта концепция предлагает дополнительные преимущества с точки зрения безопасности, времени выхода на рынок и затрат: реактор производит энергию только при циркуляции соли через картриджи, при остановке насоса реактор отключается, конструкция картриджей позволяет использовать существующие и проверенные материалы и компоненты, что сокращает сроки разработки и лицензирования, картриджи эффективно производятся серийно за пределами площадки.

Глава нидерландского отделения Tractebel В. Шрайверс отметил, что Tractebel уже долгое время является лидером в области внедрения малых модульных реакторов, которые, по их мнению, окажут влияние на достижение углеродной нейтральности к 2050 г. Он подчеркнул, что новаторская технология реактора Thorizon позволит реализовать замкнутый ядерный топливный цикл.

В августе 2022 г. Thorizon объявила о своих планах тесного сотрудничества с несколькими сторонами, включая Orano и NRG, в разработке своего реакторного проекта. Нидерландский ядерный оператор EPZ выразил готовность предоставить площадку своей АЭС Борселе для отработки технологии. Также в разработке проекта Thorizon One активно участвуют университеты и научные институты, такие как Делфтский технический университет и DIFFER.

В начале 2024 г. Thorizon также заключила соглашение о стратегическом партнерстве с французским разработчиком сверхкомпактных жидкосолевых реакторов на быстрых нейтронах под названием Naagea с целью продвижения разработки реакторов на быстрых нейтронах в Европе.

А. Шевченко, ИА Neftegaz.RU

ПРОРЫВ В ТЕРМОЯДЕРНОМ СИНТЕЗЕ: ДОСТИЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА NIF В ЛИВЕРМОРСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Успех эксперимента по термоядерному синтезу ученых из Ливерморской национальной лаборатории в США знаменует начало новой эры в исследованиях ядерного синтеза.

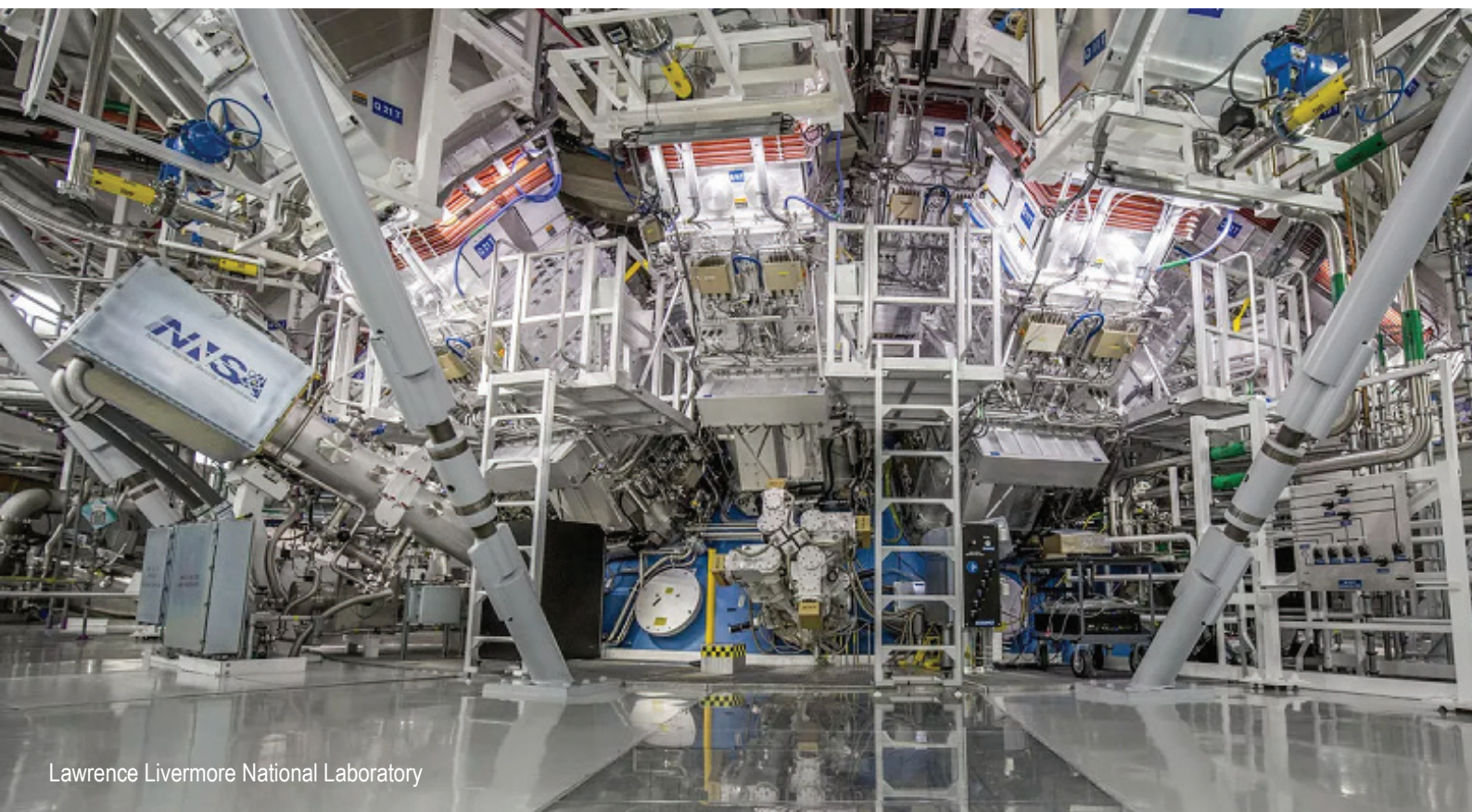
Ученые в Ливерморской национальной лаборатории в США провели успешный эксперимент по термоядерному синтезу. По мнению специалистов, это открытие приближает человечество к источнику бесконечной энергии. Результаты эксперимента прошли проверку международной группой экспертов.

В 20-е годы XX века физики доказали, что реакции слияния ядер водорода являются основным источником энергии звезд, включая образование гелия и других тяжелых элементов. Ученые уже более 100 лет пытаются воссоздать термоядерный синтез на Земле. Первое устройство, в котором применили термоядерный синтез на практике, была водородная бомба. Однако энергию, выделившуюся при взрыве, нельзя было использовать конструктивно. С 1950-х годов в США, России и других странах проводятся исследования по управляемому термоядерному синтезу.

Из-за положительной заряженности ядер электростатическое отталкивание представляет основную проблему. Требуется значительная энергия для слияния ядер, даже самого легкого элемента – водорода. Для этого топливо нужно нагревать до температуры в сотни миллионов градусов, превращая его в плазму. Основная проблема заключается в удержании плазмы от контакта с любой поверхностью, поскольку ни один материал не может выдержать такие температуры.

В середине 1950-х годов советские ученые предложили техническое решение – кольцевую тороидальную камеру с магнитными катушками (токамак), в которой плазма удерживается магнитным полем. Параллельно с токамаками развивалось направление инерциального управляемого синтеза. Идея заключается в быстром нагреве термоядерного топлива, например, с помощью мощных лазеров. Из-за инерции образовавшаяся плазма не успевает разлететься (это состояние называют инерциальным удержанием), создавая температуру и давление, необходимые для преодоления отталкивания протонов.

Сегодня магнитный и инерциальный термоядерный синтез – два основных подхода в исследованиях. Токамаки считаются наиболее перспективными с точки зрения выработки энергии, т.к. теоретически можно добиться устойчивого управляемого эффекта. Реактор, работающий по инерциальному принципу, является импульсным. Такие устройства вызывают интерес военных, поскольку позволяют изучать возможности термоядерного оружия без настоящих испытаний. В Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса в США располагается Национальный комплекс лазерных термоядерных реакций (NIF) – крупнейшая в мире установка инерциального типа. Здесь используются небольшие мишени с термоядерным топливом (изотопами водорода – дейтерием и тритием), которые облучаются пучками сверхмощных лазерных лучей.



Lawrence Livermore National Laboratory

Основной целью NIF, как и любого другого устройства управляемого синтеза, является достижение энергетической безубыточности – состояния, при котором коэффициент усиления термоядерной энергии превышает единицу. Энергетическая безубыточность вычисляется как отношение энергии, полученной в результате термоядерного горения, к подведенной лазерной энергии. Расчеты показывают, что с повышением температуры плазмы скорость реакций и саморазогрев системы быстро нарастают, и для поддержания синтеза требуется все меньше энергии от внешних источников. В конечном счете система переходит на внутреннее энергообеспечение, что называется зажиганием (ignition).

Комплекс NIF был запущен в 2009 г., однако реакцию синтеза долгое время не удавалось получить. Только в 2018 г. после серии технических улучшений это произошло, но выделилось всего 3,6% от входной энергии лазера. К августу 2021 г. показатель удалось повысить до 70%. А в декабре 2022 г. при использовании лазеров энергии 2,05 мегаджоуля получили в 1,5 раза больше энергии – 3,15 мегаджоуля. О достигнутом успехе сообщили на брифинге Министерства энергетики США (DOE) и Национального управления ядерной безопасности (NNSA), и недавно вышла статья с описанием деталей эксперимента. В работе приняли участие 1370 исследователей из 44 институтов.

Во время эксперимента на капсулу размером с бусину, содержащую 220 микрограммов топлива, направили 192 мощных лазерных луча. В короткий момент импульса в месте их фокусировки температура достигла 151 миллиона °С, а давление – 600 миллиардов атмосфер, то есть было жарче и плотнее, чем в недрах Солнца. В этих условиях ядра водорода слились, образуя гелий, и произошел выброс энергии длительностью в несколько миллиардных долей секунды. В течение 2023 г. успех установки NIF подтвержден 3 раза. Один из выходов достиг 3,88 мегаджоулей при входной энергии в 2,05 мегаджоуля с коэффициентом усиления термоядерной энергии почти 1,9.

Этот успех знаменует начало новой эры в исследованиях ядерного синтеза, но до коммерческого применения синтеза ядра еще далеко. Энергия, потраченная на питание 192 лазеров установки, превышает 400 мегаджоулей, что означает, что КПД NIF как энергетической установки – менее 1%.

В Саровском ядерном центре (ВНИИЭФ) строится российская установка УФЛ-2М для экспериментов по управляемому термоядерному синтезу с инерциальным удержанием плазмы. Планируется, что она будет заметно мощнее – с энергией 4,6 мегаджоуля, и полностью введена в эксплуатацию к 2030 г.

А. Шевченко, ИА Neftegaz.RU

Росатом представил предлагаемый для зарубежного рынка проект плавучей АЭС



Госкорпорация «Росатом» на выставке в рамках XII Международной встречи высоких представителей, курирующих вопросы безопасности, проходящей в Санкт-Петербурге под эгидой Совета безопасности РФ, представила свой проект плавучей атомной электростанции, предлагаемый для зарубежного рынка.

АЭС на основе плавучих энергоблоков (ПЭБ) – одно из основных направлений работы «Росатома» в сфере атомной энергетики малой мощности, в которой госкорпорация занимает лидирующие позиции.

Для международного рынка «Росатом» предлагает плавучую АЭС ПЭБ-100 электрической мощностью 100 мегаватт с двумя реакторами РИТМ-200М и сроком службы до 60 лет. Участники международной встречи могут посетить выставку и поучаствовать в виртуальном пресс-туре по ПЭБ-100.

«Росатом» сейчас эксплуатирует единственную в мире плавучую атомную теплоэлектростанцию. Она расположена в городе Певек на Чукотке, являясь 11-й промышленно эксплуатируемой атомной электростанцией в России и самой северной в мире. Станция состоит из береговой инфраструктуры и плавучего энергоблока «Академик

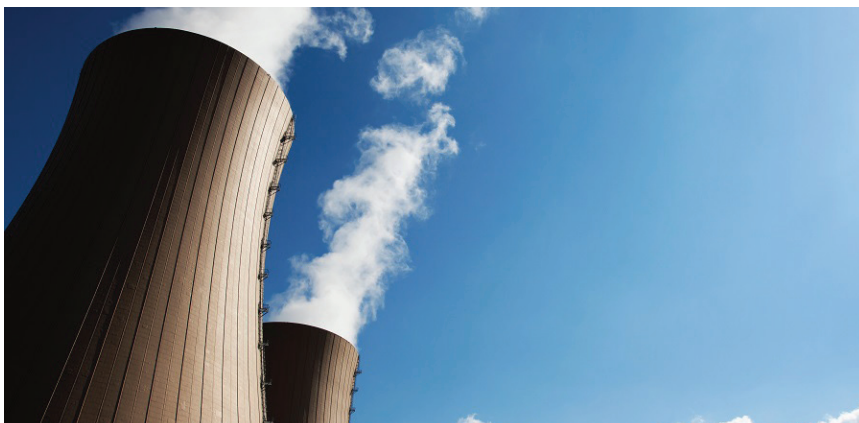
Ломоносов» с реакторной установкой КЛТ-40С. Это сегодня – единственное в своем роде сооружение в мире, что делает Россию мировым лидером в области малой атомной энергетики за счет наличия референтного энергоблока, способного закрыть потребность отдаленных регионов.

Как отмечают специалисты, плавучие атомные энергоблоки – современный и экологичный способ энергообеспечения прибрежных и удаленных территорий с не очень развитой системой энергоснабжения и промышленных объектов, где строительство станций большой мощности невозможно. Это непрерывный источник электроэнергии с базовой нагрузкой в течение 60-летнего жизненного цикла. Плавучие АЭС отличает высокопрогнозируемый тариф на электроэнергию в течение жизненного цикла без привязки к цене на углеводороды. Плавучие АЭС считаются передовой зеленой технологией производства электроэнергии. В их проектах обеспечивается устойчивость ПЭБ к внешним воздействиям природного и техногенного характера в соответствии с требованиями нормативной документации РФ, международной конвенции о физической защите ядерного материала и рекомендациями МАГАТЭ.

«Росатом» сообщил, что плавучие атомные энергоблоки имеют большой коммерческий потенциал в России и за рубежом, интерес к ним проявляют десятки стран и регионов.

Источник: ТАСС

США впервые вернут к работе закрытую АЭС



Федеральное правительство США предоставит кредит в размере 1,5 млрд долларов для возобновления работы АЭС Палисейд мощностью 800 МВт на юго-западе штата Мичиган, эксплуатируемой с 1971 года и оставленной 2 года назад. Об этом сообщило агентство Associated Press со ссылкой на власти штата. Для США открытие АЭС станет частью работы по переходу на зеленую энергию, на важность которой в рамках борьбы с изменениями климата указывает нынешняя администрация.

В 2022 г. компания Holtec International приобрела АЭС Палисейдс с планами ее демонтировать. Однако теперь, при поддержке администрации президента США Д. Байдена и властей штата, планируется ее перезапуск к 2025 г. Для этого будут проведены соответствующие инспекции, испытания, также потребуются получить разрешение комиссии по ядерному регулированию. Ожидается, что проект позволит избежать 4,47 млн т/год выбросов CO₂ в течение прогнозируемых 25 лет эксплуатации.

По словам губернатора Г. Уитмер, это будет первая перезапущенная АЭС в США.

Ранее из проекта американского бюджета на 2025 финансовый год стало известно, что урановая отрасль США должна получить 2,7 млрд долл. США. Финансирование, запрошенное Белым домом, является частью более широкого плана администрации президента Д. Байдена по закупке обогащенного урана напрямую у местных производителей и сокращения зависимости от импорта урана из России. Напомним, что в декабре 2023 г. Палата представителей США одобрила законопроект, запрещающий импорт обогащенного урана из РФ.

По прогнозам Всемирной ядерной ассоциации (WNA), спрос на уран к 2040 г. удвоится и достигнет 130 тыс. т. В 2023 г. он составлял 65,65 тыс. т. Любопытно, что в США и других странах, где ведется добыча урана, владельцы заброшенных рудников возобновляют работу. Как минимум 5 американских уранодобывающих компаний восстанавливают шахты в штатах Вайоминг, Техас, Аризона и Юта.

П. Паршинова, ИА Neftegaz.RU

Д. Байден: США самостоятельно произвели первые 90 кг HALEU

К концу 2024 г. США планируют произвести почти 1 т высокопробного низкообогащенного урана

В США произведены первые 90 кг высокопробного низкообогащенного урана (HALEU). Об этом 19 апреля 2024 г. заявил президент США Д. Байден на конференции по строительству и техобслуживанию профсоюза электротехников International Brotherhood of Electrical Workers (IBEW) в г. Вашингтон.

Мощный обогащенный уран США

Выступление стало частью предвыборной кампании Д. Байдена. Президент напомнил о принятом в период его президентства законе об инфраструктуре, в рамках которого анонсировано 51 тыс. новых инфраструктурных проектов, что создает новые рабочие место с достойной оплатой. Так, работники IBEW строят улучшенные электросети, новые морские ветряные турбины, национальную сеть из 500 тыс. станций для электромобилей. В этих проектах используются материалы американского производства, что создает еще больше высокооплачиваемых рабочих мест в США. Не удержался Д. Байден и от упреков в адрес предыдущего президента США Д. Трампа, своего соперника в нынешней предвыборной гонке. Так, действующая администрация поддерживает принцип «Покупай американское», чего подавляющее большинство президентов не делало, а последний даже не знал об этом. В качестве примера успеха своей администрации Д. Байден привел инвестиции в чистую энергетику и передовое производство, в т.ч. HALEU. Тезисы от Д. Байдена:

- мы привлекли 700 млрд долл. США частных инвестиций в передовое производство, экологически чистую энергетику и многое другое здесь, в Америке, создав десятки тысяч хорошо оплачиваемых рабочих мест IBEW,



- возьмем атомную энергетику, крупнейший источник экологически чистой энергии, ключ к достижению цели создания 100% чистой энергосистемы к 2035 г. во многом зависит от нее,
- вот почему мы поддерживаем работу существующих электростанций, перезапускаем закрытые заводы и впервые за многие десятилетия строим новые АЭС в США,
- мы инвестируем, чтобы убедиться, что США лидируют в области новых технологий, таких как передовые малые модульные реакторы будущего,
- это также означает производство топлива, необходимого для работы этих реакторов,
- слишком долго мы полагались на импортный уран для снабжения ядерных реакторов – импорт из таких мест, как Россия, которой мы вообще не можем доверять, моя администрация работает над тем, чтобы все это изменить,
- мы инвестируем 3,4 млрд долл. США в производство современного ядерного топлива прямо здесь, в Америке,
- сегодня я могу объявить, что завод IBEW на юге шт. Огайо уже произвел первые 200 фунтов (90,7 кг) этого мощного обогащенного урана – первого в истории, произведенного в США,
- к концу 2024 г. планируется произвести почти 1 т, чего хватит для электроснабжения 100 тыс. домов в стране,
- благодаря вашему партнерству, оживляющему ключевые отрасли американской промышленности, мы снижаем зависимость от импортной нефти, создавая больше рабочих мест для работников IBEW,
- на сегодняшний день по всей стране с тех пор, как я вступил в должность, запущено более 2 тыс. новых проектов в области экологически чистой энергии, что создало десятки тысяч хорошо оплачиваемых рабочих мест.

Как обогащают уран в США

Первоначально в США обогащение урана велось на базе диффузионной технологии, показавшей низкую эффективность по сравнению с разработанной и используемой в СССР центрифужной технологией обогащения. Проект «Американская центрифуга» – первая попытка разработки центрифужной технологии в США – оказалась неудачной. В июне 2011 г. на построенном в рамках проекта заводе в г. Пайктон, шт. Огайо, произошел инцидент, который привел к разрушению нескольких центрифуг, тяжелых последствий удалось избежать только благодаря тому, что центрифуги не были загружены гексафторидом урана. В 2016 г. Минэнерго США прекратило финансирование проекта «Американская центрифуга» и он был свернут в результате перерасхода средств и невнятных результатов. В 1990-х годах США начали активно импортировать уран из России в рамках программы «Мегатонны в мегаватты» (соглашение ВОУ-НОУ, прекращено в марте 2021 г.). United States Enrichment Corporation (USEC), созданная как обогатительная урановая компания в США, была приватизирована, и в конце концов прошла процедуру банкротства. До ноября 2023 г. собственного производства обогащенного урана в США не было (завод в г. Юнис, шт. Нью-Мексико, принадлежит URENCO). В ноябре 2023 г. возрожденная USEC, ставшая Centrus Energy, завершила 1-й этап модернизации завода в Пайктоне в рамках заключенного в 2019 г. контракта с Минэнерго США на 115 млн долл. Компания запустила 16 газовых центрифуг AC100M для демонстрации технологии производства HALEU. В 2023 г. на них удалось произвести 20 кг HALEU, сейчас накопленный объем произведенного урана достиг уже 90 кг. В 2024 г. ожидается

рост выпуска HALEU до 900 кг. При этом совокупная производительность полного каскада на заводе Centrus Energy, состоящего из 120 центрифуг, составит приблизительно 6 т/год HALEU.

Зачем США HALEU?

HALEU-топливо (High-Assay Low-Enriched Uranium) – продукт с содержанием ^{235}U более 5% (используется в традиционном ядерном топливе) и менее 20% (20% – пороговое значение для мирного атома, установленное МАГАТЭ). Наиболее перспективным сегментом применения HALEU являются атомные станции малой мощности (АСММ). За счет небольших реакторов и высокой степени заводской готовности такие реакторы позволяют строить АЭС быстрее и более гибко подбирать мощность, чем у традиционных АЭС. Однако из-за малого размера активной зоны таких реакторов при использовании традиционного ядерного топлива потребуются слишком частая его замена, а за счет большего содержания урана в HALEU топливную сессию можно сделать более продолжительной. На данный момент Росатом является единственным производителем HALEU, выпускающим продукт с обогащением до 19,75% в промышленных масштабах. Такое топливо используется в реакторах РИТМ-200, которые установлены на атомных ледоколах ЛК-60 (проект 22220), на базе этих же реакторов строятся плавучие энергоблоки (ПЭБ) для Баимского ГОКа на Чукотке. Сухопутная модификация реактора – РИТМ-200Н – предназначена для АСММ, которая будет построена для Кючусского золоторудного месторождения в республике Саха (Якутия). Также Техснабэкспорт (Тепех, дочка Росатома) осуществляет поставки коммерческих партий HALEU своим зарубежным покупателям для исследовательских реакторов.

Минэнерго США прогнозирует, что потребность в HALEU только в США к 2030 г. превысит 40 т/год. Кроме того, США пообещали продвигать атомную энергетику, в т.ч. АСММ, в партнерстве со странами-союзниками – Канадой, Францией, Японией и Великобританией, для чего требуется создание рынка урана, независимого от России. В июне 2023 г. Д. Байден и премьер-министр Великобритании Р. Сунак согласовали Атлантическую декларацию, в которой США и Великобритания заявили о намерении запустить новое атомное партнерство в гражданской сфере. Целью сотрудничества была названа поддержка критически важной отрасли чистой энергетики и противодействие присутствию России на глобальном рынке атомной энергетики.

Е. Алифирова, специальный корреспондент Neftegaz.RU, автор фото – Mark Felix

США и Япония будут работать над ускорением термоядерного синтеза



Соединенные Штаты и Япония 10 апреля 2024 г. объявили о совместном партнерстве для ускорения разработки и коммерциализации термоядерного синтеза. О партнерстве стало известно, когда премьер-министр Японии Ф. Кисида находился в Вашингтоне на встрече на высшем уровне с президентом США Д. Байденом.

9 апреля 2024 г. прошла встреча заместителя министра энергетики США Д. Терка и министра образования, спорта, науки и технологий Японии М. Мориямы. Стороны обсуждали термоядерный синтез. По сообщению министерства энергетики США,

партнерство будет сосредоточено на научно-технических задачах, связанных с коммерческим термоядерным синтезом, и расширении сотрудничества между университетами США и Японии, национальными лабораториями и частными компаниями.

Ученые, правительства и компании десятилетиями пытались использовать термоядерный синтез – ядерную реакцию, проходящую на Солнце, для получения электроэнергии. Ее можно воспроизвести на Земле с помощью тепла и давления, используя лазеры или магниты для слияния 2-х легких атомов в один более плотный, высвобождая большое количество энергии. В отличие от установок, работающих на делении или расщеплении атомов, коммерческие термоядерные установки, если они когда-либо будут построены, будут производить мало радиоактивных отходов длительного хранения.

В прошлом году ученые национальной лаборатории США в Калифорнии, используя лазеры, совершили прорыв в термоядерном синтезе под названием «воспламенение», когда на мгновение количество энергии, получаемой в результате термо-

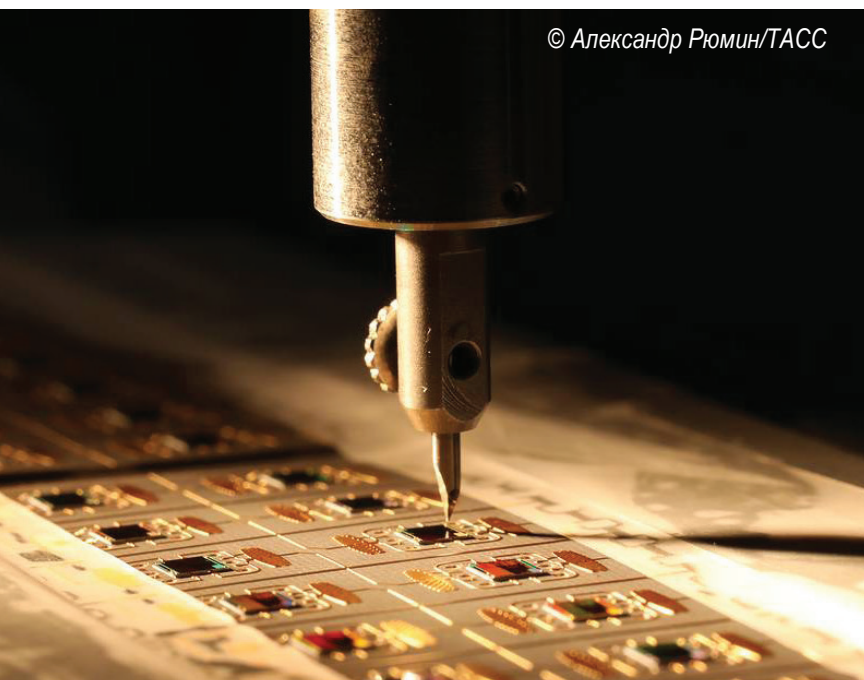
ядерной реакции, превысило количество энергии, направленной на цель. Однако суммарная выработка энергии в результате этого эксперимента составила лишь около 0,5% от энергии, затраченной на запуск лазеров. Даже если научные разработки в конечном итоге будут завершены, существуют препятствия нормативного регулирования, строительства и выбора места для создания новых парков электростанций для замены частей существующих энергетических систем.

В конце 2023 г. Япония организовала форум термоядерной промышленности для коммерциализации этой технологии, в котором приняли участие представители инжиниринговых и энергетических компаний. Ожидается, что форум даст рекомендации правительству Японии по стандартам безопасности и технологиям и послужит связующим звеном для зарубежных проектов.

Представители термоядерной индустрии высоко оценили партнерство. Как отметил глава Ассоциации термоядерной индустрии, базирующейся в Вашингтоне, термоядерный синтез слишком важен для ненужной конкуренции, поэтому страны-единомышленники должны работать вместе для достижения общей цели.

А. Хасанова, ИА Neftegaz.RU

Создан фотонный чип, ускоряющий ключевую часть процесса обучения ИИ



© Александр Рюмин/ТАСС

Физики из США разработали фотонный чип, способный ускорять проведение операций перемножения матриц на вектор, одну из самых затратных и важных математических операций, используемых в процессе обучения и работы нейронных сетей. Об этом в пятницу сообщила пресс-служба Университета штата Пенсильвания (UPenn).

«Ученые разработали новый чип, который использует волны света, а не импульсы электричества для исполнения сложных математических расчетов, необходимых для обучения систем искусственного интеллекта. Эти чипы в перспективе радикально ускорят процесс подготовки нейросетей к работе, а также позволят снизить уровень потребления энергии», – говорится в сообщении.

Фотонный чип был разработан группой физиков под руководством профессора UPenn Надера Энгхета. Чип представляет собой пластинку из кремния, внутри которой присутствует набор из множества частично пересекающихся и соединяющихся волноводов. Эти каналы устроены таким образом, что движущиеся через них лучи особым

образом взаимодействуют и меняют свои свойства.

Как объясняют физики, эти взаимодействия по своей сути эквивалентны тому, как если бы закодированные внутри потоков частиц света значения особым образом перемножались друг с другом. Это позволяет использовать фотонные чипы для перемножения матриц на вектор, ключевой математической операции, используемой в процессе обучения нейросетей для определения структуры всей сети.

Для проверки работы этих фотонных чипов ученые изготовили несколько их вариаций, способных перемножать матрицы разных размерностей, получать исходные данные и передавать результаты вычислений. Последующие тесты подтвердили работоспособность фотонных чипов и указали на то, что их можно легко встроить в классические компьютерные микросхемы, что позволит использовать их в качестве ускорителя матричных вычислений.

Как отмечают исследователи, использованные ими подходы для фабрикация фотонных чипов полностью совместимы с теми методами изготовления микрочипов, которые сейчас применяются в промышленности. Это позволит встроить их в качестве сопроцессора в современные GPU-чипы, которые сейчас широко используются в ИИ-индустрии, что значительно ускорит процесс обучения нейросетей и снизит потребление энергии.

<https://nauka.tass.ru/nauka/20005057>

Физики открыли экзотический квантовый эффект в пятислойной «стопке» из графена

По словам американских исследователей, открытый ими феномен представляет собой аналог дробного квантового эффекта Холла

Физики из США выяснили, что внутри пятислойных конструкций из графена может возникать необычный квантовый эффект, заставляющий электроны внутри этих прослоек вести себя так, как будто они обладают дробным зарядом. Это позволяет использовать подобные структуры для создания квантовых компьютеров, сообщила пресс-служба Массачусетского технологического института (MIT).

«Дробные заряды электронов являются экзотическим феноменом

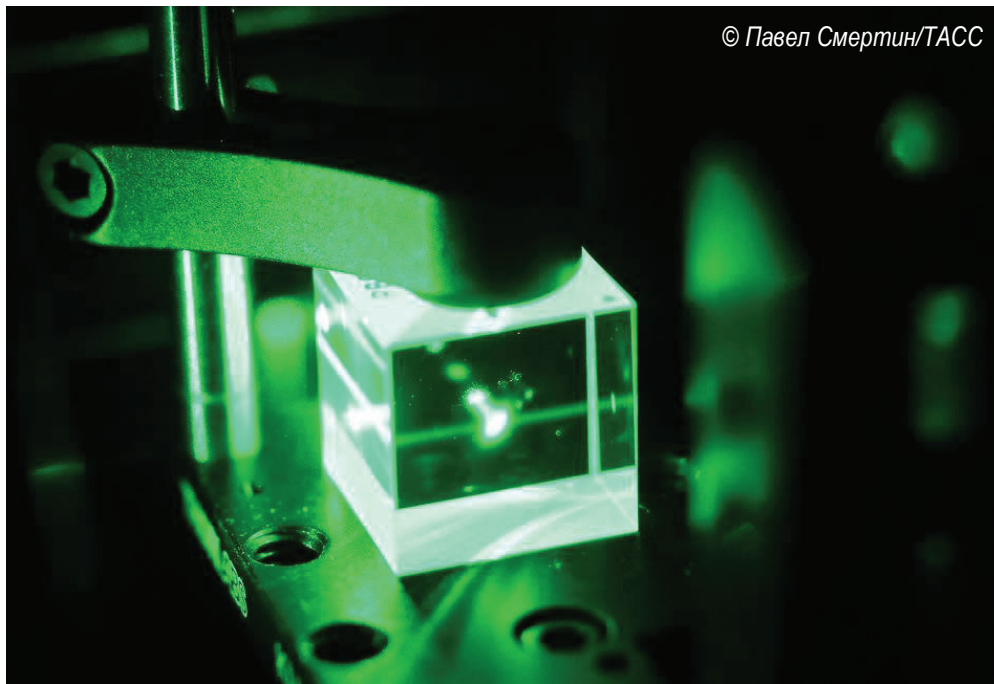
сами по себе, и теперь мы можем получать его внутри просто устроенного материала и без воздействия сильных магнитных полей. Это само по себе очень важно для изучения фундаментальной физики, а также в перспективе позволит нам создать новые типы квантовых компьютеров, защищенные от действия внешних помех», – заявил доцент MIT Цзюй Лун, чьи слова приводит пресс-служба вуза.

Как отмечают исследователи, открытый ими феномен представляет собой аналог дробного квантового эффекта Холла. Так физики называют необычный характер поведения электронов внутри плоских пластинок из полупроводников, охлажденных до сверхнизких температур и подвергающихся действию очень мощных магнитных полей. В подобных условиях электроны ведут себя так, как будто они обладают дробным зарядом, что обусловлено квантовыми взаимодействиями между этими частицами.

10 лет назад физики обнаружили, что подобным же образом можно заставить вести себя электроны и без присутствия внешних магнитных полей, для чего необходимо особым образом наложить друг на друга пленки из сложно устроенных двумерных материалов. Это открытие заставило американских ученых задуматься о том, можно ли воспроизвести эту аномальную вариацию дробного квантового эффекта Холла в более просто устроенном материале.

Проведенные ими опыты указали, что этого можно добиться, если взять пять слоев графена и наложить их друг на друга в форме своеобразной «лесенки» или «змейки». В результате этого атомы внутри всех прослоек графена будут расположены таким образом, что их тесное соседство будет заставлять вращающиеся вокруг них электроны активно взаимодействовать друг с другом и приобретать дробный заряд.

Подобные структуры, как отмечают ученые, можно использовать для создания гибридных квантовых компьютеров, в которых для проведения вычислений будут использоваться и сверхпроводники, и материалы с дробным квантовым эффектом Холла. В прошлом это было невозможно из-за того, что для сохранения дробных зарядов частиц требовались мощные магнитные поля, мешающие работе сверхпроводников. Пятислойный графен позволяет обойти эту проблему, что открывает дорогу для создания квантовых компьютеров, максимально защищенных от внешних помех, подытожили физики.



© Павел Смертин/ТАСС

<https://nauka.tass.ru/nauka/20050977>

Начата разработка нового настольного эксперимента по поиску темной материи

Что такое тёмная материя? Мы не знаем. На данном этапе игры учёные заняты тем, что пытаются обнаружить её и составить карту её присутствия и распределения во Вселенной. Обычно для этого используются высокотехнологичные и сложные телескопы. Но новый подход предполагает использование настолько маленького устройства, что его можно разместить на кухонном столе.

Сотрудничество Чикагского университета и Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми привело к созданию настольного устройства под названием Broadband Reflector Experiment for Axion Detection или BREAD. BREAD создан для обнаружения тёмной материи, и его первые результаты уже представлены в новой статье.

Статья называется «Первые результаты широкополосного поиска тёмных фотонов тёмной материи в диапазоне 44-52 мкэВ с помощью коаксиальной антенны-тарелки». Она опубликована в журнале Physical Review Letters, а её ведущим автором является Стефан Книрк. Книрк – постдокторант Фермилаба, который руководил созданием детектора.

Слово «загадочный» будет слишком слабым для описания тёмной материи. Она составляет около 85% материи во Вселенной. Её нельзя увидеть, но о её присутствии можно догадаться из наблюдений. Её масса удерживает галактики вместе; без неё они бы разлетелись на части.

Тёмную материю иногда называют основой Вселенной или строительными лесами, на которых держится обычная материя. Моделирование, например TNG Illustris, показало, как тёмная материя распределена по Вселенной в виде сети нитей и сгустков. Распределение скоплений галактик происходит по той же схеме.

Физики до сих пор не знают, что такое тёмная материя. Но она существует, и на её роль есть несколько кандидатов.

«Мы вполне уверены, что она существует, но есть много-много форм, которые она может принимать», – говорит доцент Чикагского университета Дэвид Миллер. Миллер – один из руководителей эксперимента BREAD.

Один из кандидатов на её роль — гипотетический тип частиц, аксионы. Если они реальны и их масса попадает в определённые пределы, то они могут быть одним из компонентов тёмной материи.

Эксперимент BREAD сосредоточен на диапазоне масс 10,7-12,5 ГГц. В этом диапазоне он ищет тёмные фотоны тёмной материи. Наряду с аксионами, они являются одним из наиболее перспективных кандидатов в тёмную материю. Тёмные фотоны – это гипотетический тип частиц, которые, по мнению физиков, могут выступать в качестве переносчиков взаимодействий для тёмной материи, подобно тому как фотоны являются переносчиками взаимодействий для электромагнетизма. При поисках тёмной материи аксионы и тёмные фотоны ищут совместно, но подробное объяснение их природы выходит за рамки этой статьи.

Первый раз BREAD работал 24 дня подряд и ничего не обнаружил; если бы обнаружил, это было бы огромной новостью, и мы бы все об этом узнали. Но поскольку цель эксперимента BREAD очень узкая, отсутствие положительного результата всё равно было конструктивным.

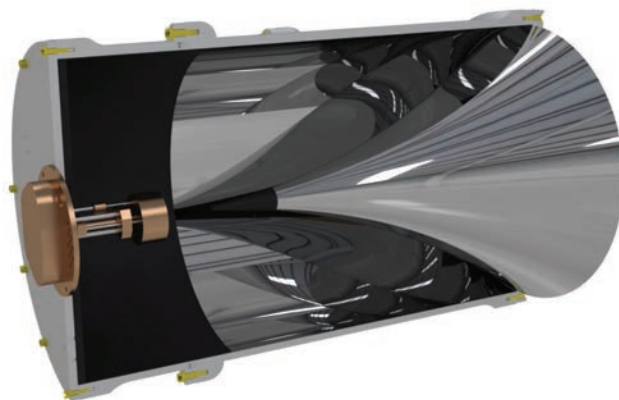
«Мы очень рады тому, что нам удалось сделать на данный момент, — говорит Миллер, — У этой конструкции есть масса практических преимуществ, и мы уже продемонстрировали лучшую на сегодняшний день чувствительность в диапазоне 11-12 гигагерц».

Каждый кандидат в тёмную материю необходимо искать особым образом. Физики строят детекторы, нацеленные на конкретных кандидатов. BREAD работает немного по-другому. Как видно из его названия, это широкополосный детектор. Он может искать в диапазоне частот, но при этом страдает его точность.

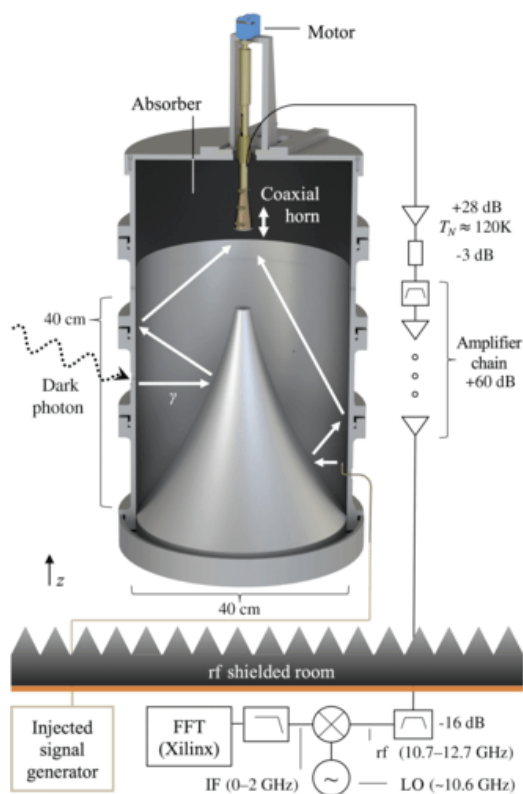
«Если представить себе, что эксперимент похож на работу с радиоприёмником, то поиск тёмной материи напоминает прокручивание ручки настройки в поисках одной конкретной радиостанции. Разница состоит в том, что проверить нужно миллион разных частот, – говорит Миллер. – Наш метод похож на сканирование 100 000 радиостанций, а не нескольких, причём очень скрупулёзное».

Эта версия BREAD является уменьшенной версией будущей полномасштабной версии. В конечном итоге BREAD расположат внутри магнита. Магнитное поле повысит вероятность того, что частицы тёмной материи будут преобразованы в фотоны, которые можно будет обнаружить. Этот первый 24-дневный запуск был доказательством работоспособности концепции.

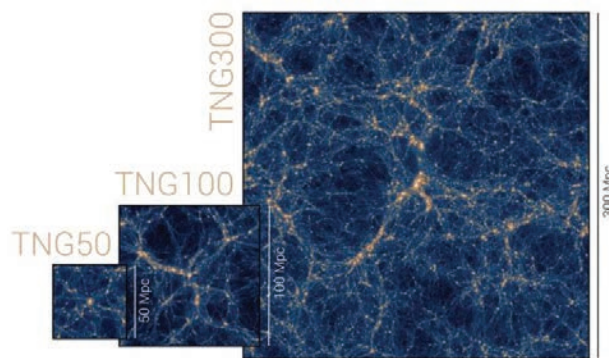
Несмотря на то, что первый пробный запуск не обнаружил никакой тёмной материи, его результаты всё равно оказались полезными. Запуск показал, что BREAD очень чувствителен в своём частотном диапазоне. Исследователи считают, что смогут улучшить чувствительность ещё больше.



Астрономы получают новый инструмент, который поможет им в поисках тёмной материи. Это рендер конструкции BREAD, что расшифровывается как Broadband Reflector Experiment for Axion Detection. Устройство в форме расструбы направляет потенциальные сигналы тёмной материи на детектор медного цвета слева. Детектор достаточно компактен, чтобы поместиться на столе. Изображение любезно предоставлено коллаборацией BREAD



Эта схема из исследования помогает объяснить принцип работы BREAD. Тёмные фотоны преобразуются в фотоны, излучаемые перпендикулярно цилиндру. Сигнал фокусируется на коаксиальной рупорной антенне, усиливается помощью малошумящей цепи приёмника (справа), преобразуется вниз и оцифровывается с помощью специализированной широкополосной системы сбора данных на основе полевой программируемой вентильной матрицы (внизу) в режиме реального времени



TNG 50, TNG 100 и TNG 300 моделируют все более крупные участки Вселенной, показывая, как тёмная материя распределена по Вселенной

«Это только первый шаг в серии интересных экспериментов, которые мы планируем, – сказал Эндрю Зонненшайн из Фермилаб, который изначально разработал концепцию BREAD. – У нас есть много идей по улучшению чувствительности поиска аксионов».

Тёмная материя и её состав – один из самых запутанных вопросов в науке. Для Миллера BREAD – это не просто очередной научный эксперимент. Он говорит о творческом подходе, необходимом для тщательного изучения тёмной материи, и о том, как исследователи из разных институтов могут работать вместе, чтобы добиться прогресса.

«В науке ещё так много открытых вопросов и огромное пространство для новых творческих идей по их решению, – говорит Миллер. – Я думаю, что это действительно яркий пример таких творческих идей – в данном случае, эффективных совместных партнёрств между менее масштабной наукой в университетах и более масштабной наукой в национальных лабораториях».

<https://habr.com/ru/articles/805925/>

Япония готовится к испытанию нового реактора АЭС с функцией аварийной остановки

Использование высокотемпературного газоохлаждаемого реактора позволит предотвратить катастрофы, подобные Фукусиме-1 в 2011 г.

Японское Агентство по атомной энергии проведет испытание нового типа реактора атомной электростанции, который обладает функцией аварийной самостоятельной остановки в случае отключения электроснабжения. Об этом сообщила японская газета Yomiuri.

В конце марта планируется провести эксперимент с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором, достигающим уровень 100% нагрузки. Внутренняя температура реактора достигнет 1000 °С. По плану, гелий, используемый для охлаждения реактора, при отключении электроснабжения будет естественным образом рассеивать тепло, что приведет к безопасному снижению температуры реактора. Эксперимент будет проводиться в контролируемых условиях, и его можно будет прервать в случае возникновения нештатной ситуации.

В 2021 г. агентство успешно остановило работу реактора на уровне 30% нагрузки. Новый эксперимент может послужить основой для дальнейшего коммерческого использования данной разработки, способной не только производить электроэнергию, но и водород, как отмечает издание.

В марте 2011 г. цунами привело к серьезным неполадкам в работе энергетических и охлаждающих систем АЭС Фукусима-1, вызвав расплавление ядерного топлива в трех реакторах, взрывы и выброс радиоактивных материалов. Предполагается, что использование высокотемпературного газоохлаждаемого реактора позволит предотвратить подобные катастрофы.

А. Шевченко, ИА Neftegaz.RU

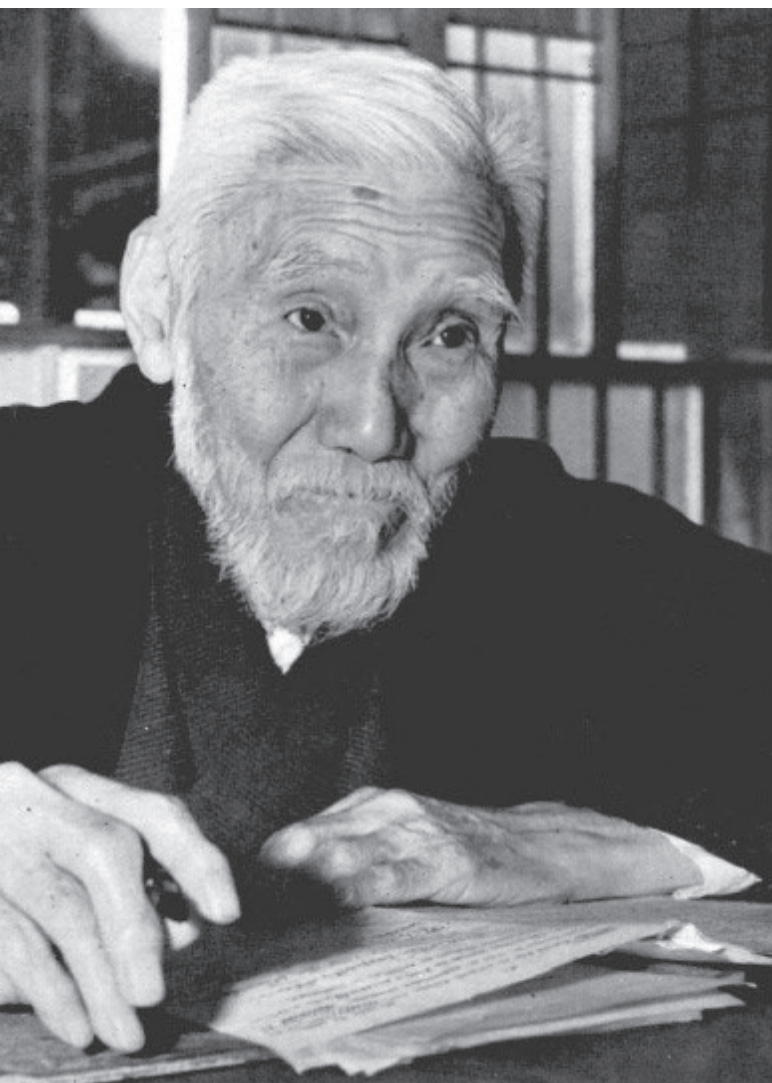


ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ

КАК ЯПОНСКИЙ УЧЕНЫЙ ОПИСАЛ СТРУКТУРУ АТОМА

Землетрясения и атомы в Японии эпохи Мэйдзи

В период после реставрации Мэйдзи многие японские ученые внесли важный вклад в развитие современной физики и химии. Но один из них пошел еще дальше: он изменил наше понимание самой природы материи. Хантаро Нагаока, как и другие японские ученые, с которыми мы познакомимся в этой главе, был сыном самурая. Он родился в 1865 г. и получил представление о европейской науке еще в детстве. Его отец поддержал реставрацию Мэйдзи и в 1871 г. по поручению императора отправился в Европу в составе миссии Ивакуры. Миссия преследовала двойную цель. Во-первых, установить дипломатические отношения с другими странами; во-вторых, собрать информацию о европейской науке и промышленности, чтобы, руководствуясь западным примером, запустить про-



Японский физик Айкицу Танакадатэ в своем кабинете в Токийском университете (Alamy)

грамму модернизационных реформ в Японии. Отец Нагаоки был глубоко впечатлен увиденным и привез детям целую библиотеку научных книг, которые купил в Англии. Именно по совету отца в 1882 г. Нагаока поступил на физический факультет Токийского университета.

Далее Нагаока последовал по уже известному пути. С 1893 по 1896 г. он учился в Германии и Австрии, где познакомился со многими ведущими физиками Европы. Там же под руководством европейских наставников он осуществил свои первые успешные исследования. Как это было принято в интернациональном мире физики того времени, Нагаока публиковал свои научные статьи на английском, французском, немецком и японском языках. Однако он не желал довольствоваться лишь заимствованием достижений европейской науки. Нагаока хотел доказать, что Япония способна стать лидером научного прогресса, как это было в ранний период Нового времени. «Я не хочу следовать по чужим стопам или посвящать свою жизнь ввозу научных знаний из-за рубежа», – писал он. В частном общении Нагаока еще откровеннее выражал свою смелую националистическую позицию, которая подкрепляла его желание изучать физику. «Нет никаких причин, чтобы европейцы продолжали главенствовать во всем», – написал он в письме к своему другу, физику Айкицу Танакадатэ.

В 1896 г. Нагаока вернулся домой и немедленно получил должность профессора в Токийском университете. Именно в Японии он совершил свой главный научный прорыв. 5 декабря 1903 г. Нагаока представил вниманию Токийского математико-физического общества доклад, в котором описал «действительное устройство химического атома». На протяжении веков ученые ломали голову над природой материи. В XIX в. велись еще более оживленные споры о ее фундаментальной структуре. Нагаока наконец-то положил конец этим спорам и дал рождение новой науке – атомной физике. Опираясь на сложные математические расчеты, он доказал, что атом должен состоять из группы отрицательно заряженных частиц, или электронов, которые вращаются вокруг массивной «положительно заряженной частицы». Нагаока сравнил это с моделью Сатурна: положительно заряженная частица в центре была подобна планете, а вращающиеся вокруг нее электроны – кольцам. Что особенно важно, Нагаока смог показать, что эта «сатурнианская система», как он ее назвал, физически стабильна.

Что вдохновило японского ученого на этот фундаментальный прорыв? С одной стороны, важную роль сыграли знания, которые он приобрел в Европе. В частности, он присутствовал на Первом всемирном физическом конгрессе в Париже в 1900 г., где познакомился с британским физиком Джозефом Джоном Томсоном, открывшим электрон благодаря эксперименту по изучению катодных лучей. С другой стороны, его мышление было во многом сформировано японской наукой. Незадолго до отъезда в Германию он присоединился к Комитету по расследованию землетрясений под руководством Танакадатэ. Полгода Нагаока путешествовал по Японии вместе с Танакадатэ, совершая дальние пешие переходы и карабкаясь

по горам, чтобы измерить точное геомагнитное воздействие землетрясения. Нагаока даже был указан как соавтор заключительного отчета Танакадатэ. В конечном счете именно это исследование землетрясения 1891 г. повлияло на последующие размышления Нагаоки о физической природе атома.

В начале 1905 г. Нагаока опубликовал еще одну статью, в которой описал, что происходит при взаимодействии электромагнитной волны с ядром атома. Удивительно (или, напротив, неудивительно), что за сравнением он обратился к сейсмологии. Нагаока утверждал, что массивная положительно заряженная частица в центре атома подобна «горе или горному хребту». Согласно его гипотезе, при прохождении через центр атома электромагнитная волна рассеивается во многом так же, как сейсмическая волна при прохождении через гору во время землетрясения. В 1905-1906 гг. Нагаока даже опубликовал две статьи, в которых уже прямо сравнил «дисперсию сейсмических волн» с «дисперсией света». Таким образом, объединив идеи из физики и химии и опираясь на опыт, приобретенный в Японии и Европе, на рубеже веков Хантаро Нагаока совершил одно из важнейших открытий в современной физике. Это в очередной раз наглядно демонстрирует нам синтетический характер научного прогресса как продукта соединения различных научных культур и различных научных дисциплин.

Сегодня открытие строения атома обычно приписывают британскому физику Эрнесту Резерфорду. Перед нами один из наиболее показательных примеров того, как неевропейские ученые были вычеркнуты из истории современной науки. Новаторская статья Резерфорда с описанием структуры атома была опубликована в 1911 г. – через несколько лет после того, как Нагаока написал серию статей по той же теме. Более того, сам Резерфорд был прекрасно осведомлен о его исследованиях и не делал из этого секрета. Больше того, он даже встречался с японским коллегой, чтобы обсудить идеи. В сентябре 1910 г. Резерфорд пригласил его в свою лабораторию в Манчестерском университете и рассказал об экспериментальной работе по подтверждению структуры атома. А в феврале 1911 г. Нагаока получил от него письмо, где Резерфорд сообщил о предстоящей публикации своей статьи. «Вы обнаружите, что предполагаемое мною строение атома в чем-то похоже на то, что было предложено вами в вашей статье несколько лет назад», – написал Резерфорд и, как само собой разумеющееся, включил в свою работу ссылку на оригинальную статью от 1904 г., которую написал и опубликовал Нагаока. Эта ссылка в статье Резерфорда вновь раскрывает перед нами скрытую историю современной науки. Эта история не британская и не японская, а общая.

В конце XIX в. японская наука была неотъемлемой частью более широкого научного мира. Почти все японские ученые того периода некоторое время учились в Европе, многие регулярно посещали международные научные конференции и тесно сотрудничали с учеными из других стран – пока не разразилась Первая мировая война. Но, как и в остальных странах мира, этот интернационализм шел рука об руку с национализмом. В Японии взаимосвязь между наукой, национализмом и войнами была особенно тесной. Не в последнюю очередь это объяснялось тем, что большинство японских ученых, получив-

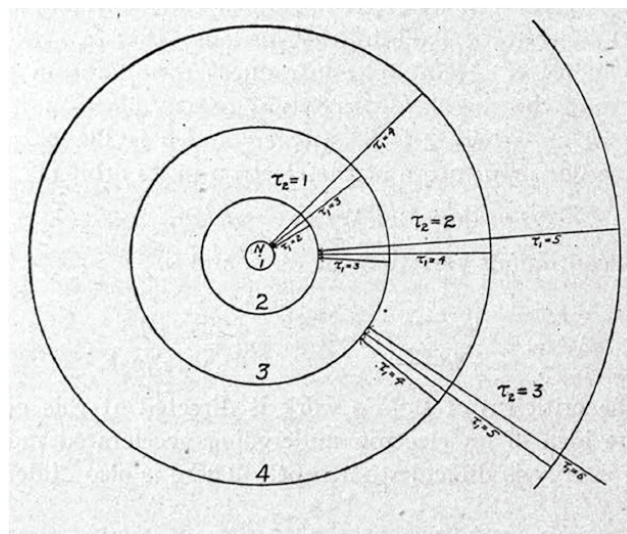


Иллюстрация «сатурнианского атома» из книги Эрнеста Уилсона «Структура атома» (1916), в которой тот ссылался на работу Хантаро Нагаоки. В центре находится положительно заряженное ядро, окруженное орбитами вращающихся электронов

ших образование сразу после реставрации Мэйдзи в 1868 г., были выходами из семей самураев. Эти «ученые-самураи» объединили традиционную веру в важность военного могущества с более современным представлением о ценности науки и технологий. «Чтобы обогащать нашу нацию и укреплять нашу армию, мы должны довести до совершенства наши физические и химические науки», – писал еще один бывший самурай, работавший в Токийском университете.

Быстрее света

Утром 13 ноября 1922 г. пароход «Китано Мару», дымя трубами, подплывал к Шанхаю по реке Янцзы. Он вез важного пассажира, которого на шанхайской набережной ожидала толпа взбудораженных журналистов и фотографов. Едва Альберт Эйнштейн сошел по трапу, как ему вручили телеграмму с захватывающей новостью: комитет Шведской академии наук только что принял решение о присуждении ему Нобелевской премии по физике. Это было знаменательным событием, подтвердившим его статус как одного из самых выдающихся ученых XX века. Но Эйнштейну даже не дали осознать значимость этого достижения – его немедленно посадили в автомобиль и повезли «осматривать город». В своем дневнике Эйнштейн описал «ужасающую суету» Шанхая, «кишащего пешеходами и рикшами и покрытого грязью всех видов». На обед его отвезли в местный ресторан, где он неуклюже попытался поесть палочками. А вечером он был почетным гостем в доме богатого предпринимателя и художника-модерниста Ван Итина и после ужина выступил с краткой речью, заявив о своей «вере в то, что китайская молодежь обязательно внесет великий вклад в науку будущего».

На следующее утро Эйнштейн снова поднялся на борт «Китано Мару» и отправился дальше. Его короткая остановка в Шанхае была частью пятимесячного турне по Азии: он уже посетил Цейлон, Сингапур и Гонконг, а следующей останов-



Альберт Эйнштейн с женой Эльзой в гостях во время визита в Японию в ноябре 1922 г. («Википедия»)

кой была Япония. 17 ноября 1922 г. Эйнштейн прибыл в Кобе. К началу 1920-х гг. Япония уже превратилась в современное индустриальное государство. Эйнштейн объехал всю страну по железной дороге, и всюду его встречали «полчища людей и фотографов с фотовспышками». В Киото он прочитал перед переполненной аудиторией лекцию о своем важнейшем научном прорыве – специальной и общей теории относительности. В ходе лекции он объяснил свою радикальную идею о том, что скорость течения времени не является постоянной, а варьируется в зависимости от относительной скорости разных наблюдателей. Это было следствием простого, но фундаментального наблюдения: ничто во Вселенной не может двигаться быстрее скорости света. Затем Эйнштейн объяснил, что гравитация оказывает на время аналогичное воздействие. Для наблюдателей в сильных гравитационных полях время течет медленнее, чем для наблюдателей в слабых гравитационных полях. Все это означало полный отказ от прежнего мира ньютоновской физики. Если раньше пространство и время считались отдельными и неизменными феноменами, то Эйнштейн показал, что пространство и время представляют собой единое целое, способное искривляться и искажаться. Эта революционная теория имела глубокие последствия для всей физики. Прежде все научные эксперименты основывались на представлении о постоянстве пространства и времени. Например, чтобы измерить скорость объекта, пройденное расстояние просто делилось на время, затраченное на преодоление этого расстояния. Как же физикам было измерять точную скорость теперь, когда пространство начало сжиматься, а время – замедляться?

Эту лекцию, прочитанную Эйнштейном на немецком языке, оперативно перевел на японский язык и опубликовал японский физик Дзюн Исивара. В свое время он изучал физику в Берлинском университете и был одним из немногих неевропейских современников Эйнштейна, кто действительно понимал теорию относительности. Эйнштейн относился к Исиваре с большим уважением и даже согласился написать с ним совместную статью для публикации в журнале *Proceedings of the Japan Academy*. По всему было видно, что в Японии Эйнштейну нравится. В свободное от чтения лекций время он совершал дальние пешие прогулки по лесам Никко и даже посетил ежегодный праздник хризантем в садах императорского дворца в Токио. «Невозможно не полюбить эту страну и не восхищаться ею», – записал Эйнштейн в своем дневнике ...

Квантовая механика в Японии

Сгрудившись вокруг стола со стопками научных журналов, японские студенты горячо обсуждали последние новости из мира квантовой механики. Они начали с новой статьи Поля Дирака об атоме водорода, затем перешли к статье Вернера Гейзенберга о квантовых «переходах» электронов. Для этих молодых людей, как и для их сверстников в Китае, квантовая механика представляла собой будущее. Японская наука должна выйти за рамки «классической теории», твердил один из них. «Наша закостеневшая система преподавания устарела», – заявил другой. Это было первое заседание Группы физических чтений, созданной в марте 1926 г. студентами Токийского университета, разочарованными уровнем и содержанием университетской программы. В те годы основной курс физики включал только

классическую механику Ньютона и некоторые работы Джеймса Максвелла по электромагнетизму. Никакой современной физики. Никакой квантовой механики. Поэтому студенты решили взять дело в свои руки.

Хоть начало XX в. в Японии и не ознаменовалось политической революцией, все же это был период серьезных социальных перемен. После смерти императора Мэйдзи в 1912 г. многие представители молодого поколения требовали политической демократизации общества и сопутствующего обновления культуры. Молодые японцы перестали посещать традиционные театры кабуки – они ходили в кино и слушали джаз. Одни студенты начали самостоятельно изучать квантовую механику, другие вступали в новые марксистские кружки. Некоторые из будущих светил физики стали членами японской компартии, основанной в 1922 г. Разумеется, не всех тянуло к марксизму: за влияние в стране боролись разные политические силы. Националисты призывали к усилению военной мощи после Первой мировой войны, либералы требовали парламентской реформы, а анархисты строили планы по свержению правительства. Словом, каждый первый смотрел на будущее Японии по-своему.

Многие видели ключ к будущему в науке. После Первой мировой войны Япония начала вкладывать в развитие науки и технологий все больше средств. В некотором роде это было продолжением усилий по созданию национального научного потенциала, предпринятых после реставрации Мэйдзи в 1868 г., когда японское правительство начало отправлять студентов на учебу в США и Европу. Это первое поколение японских ученых, вернувшись домой, участвовало в организации новых факультетов физики и биологии в университетах страны. Масштабы государственных вложений в науку после Первой мировой войны выросли еще сильнее. В 1930 г. в японских университетах училось почти в 10 раз больше студентов, чем перед войной. Тогда же было создано немало новых университетов и научных учреждений, в том числе Осакий университет в 1931 г. и Японское общество содействия науке в 1932 г.

Но самой важной из этих новых организаций был Институт физико-химических исследований, больше известный под названием-аббревиатурой RIKEN. Этот институт, основанный в Токио в 1917 г., преследовал как чисто исследовательские, теоретические цели, так и прикладные. После Первой мировой войны Япония стремилась сохранить свое промышленное и военное превосходство в Восточной Азии. «Недавняя война... научила нас тому, что автономность и самообеспеченность военными и промышленными материалами – жизненно важная необходимость», – объяснил правительственный комитет, отвечавший за создание RIKEN. Но институт должен был стать и центром передовых теоретических исследований в естественных науках. Эти две цели дополняли друг друга. RIKEN частично финансировался богатым промышленником и ученым-химиком Дзёкити Такаминэ, с которым мы познакомились в предыдущей главе, и за короткое время получил множество патентов на различные химические и промышленные процессы, среди которых даже была особая технология производства сакэ. Деньги от этих патентов шли на финансирование крупных теоретических исследований, особенно в физике. В конечном

счете цель RIKEN состояла не только в поддержке японской промышленности – его сотрудники стремились «вносить вклад в мировую цивилизацию» и тем самым «повышать статус» своей родины. Японские ученые должны были стать лидерами в своих областях. Вскоре RIKEN приобрел репутацию как лучшее место для молодых целеустремленных ученых, желающих работать над новыми научными проблемами.

Одним из таких трудолюбивых и многообещающих выпускников, пришедших в RIKEN, был Ёсио Нисина. Нисина родился в конце XIX в. в некогда влиятельной семье, лишившейся своего высокого статуса. Дед Нисины был самураем, а его отец – всего лишь хозяином маленькой фермы на окраине Окаямы. Нисина отлично учился в школе и в 1914 г., как раз в год начала Первой мировой войны, поступил на электротехнический факультет Токийского университета, который окончил лучшим студентом выпуска. На выпускной церемонии сам император Японии вручил Нисине серебряные часы, а ведущие технические корпорации, разбогатевшие на военных заказах, выстроились за ним в очередь, предлагая завидные условия. Но у Нисины были другие планы. Несмотря на явную склонность к инженерному делу, он мечтал стать ученым и заниматься теоретической физикой. Поэтому хорошо оплачиваемой работе в инженерно-технической компании он предпочел должность научного сотрудника в физическом подразделении RIKEN.

К тому времени учебные командировки за рубеж стали для японских ученых обычным делом. В апреле 1921 г. Нисина покинул Токио на борту парохода, направлявшегося в Европу: следующий год ему предстояло провести в Кембриджском университете, обучаясь физике. Эту поездку для него организовал Хантаро Нагаока, директор физического подразделения в RIKEN, который, как мы узнали из главы 6, был одним из основоположников современной физики в Японии и разработал модель атома, поразительно похожую на ту, что впоследствии была предложена Эрнестом Резерфордом, директором Кавендишской лаборатории в Кембридже. К 1920-м гг. Нагаока пользовался среди европейских физиков высоким авторитетом. Он регулярно отправлял в Кембридж перспективных студентов и теперь в письме Резерфорду лично рекомендовал ему Нисину.

В течение следующего года молодой японский ученый овладел основными экспериментальными методами современной физики и научился работать с прибором, известным как камера Вильсона, или туманная камера, который позволял регистрировать следы движения субатомных частиц. Он также познакомился со многими ведущими физиками, приезжавшими к Резерфорду в Кембридж из других стран, в том числе с уже известным нам Петром Капицей. Но Нисина жаждал большего. Экспериментальная физика была интересной областью, но он хотел разрабатывать теоретические основы квантовой механики, чтобы понять фундаментальную природу самой Вселенной.

В конце 1921 г., за несколько месяцев до предполагаемого возвращения в Японию, Нисина написал письмо Нильсу Бору, с которым познакомился во время его визита в Кембридж. Нисина спросил, не может ли Бор найти для него место в своем Институте теоретической физики. «Если кому-то нужна помощь в экспериментах или расчетах, я с удовольствием ее окажу», – написал он. Бор откликнулся на просьбу молодого японско-

го коллеги – пригласил его в Копенгаген, в Институт теоретической физики, и даже добился для него стипендии от фонда Раска–Эрстеда, датской правительственной организации, созданной после Первой мировой войны для содействия международному научному сотрудничеству. Следующие пять лет Нисина провел в Копенгагене. То, что начиналось как годичная учебная командировка, оказалось почти десятилетним пребыванием за границей.

В 1928 г., незадолго до отъезда из Копенгагена, Нисина совершил крупный теоретический прорыв. Ранее в том же году британский физик Поль Дирак опубликовал статью, в которой объединил теорию относительности и квантовую механику для описания физической природы электрона, и отправил ее копию Нисине, которого знал еще по Кембриджу. В Копенгагене статья была принята с настоящим восторгом. Дирак показал, что существует принципиальная возможность соединить теорию относительности и квантовую механику, которые ранее рассматривались как слабо связанные между собой. Однако Нисина хотел пойти еще дальше. Вместе со шведским физиком Оскаром Клейном он начал работать над формулой, которая распространяла бы уравнение Дирака на описание реального физического явления: взаимодействие электрона с рентгеновским излучением.

Нисина и Клейн напряженно работали в течение нескольких месяцев, ежедневно встречаясь для обсуждения результатов. Их совместная статья была опубликована в одном из ведущих немецких физических журналов в начале 1929 г. Лежавшие в ее основе вычисления были умопомрачительными по своей сложности. Но ученые справились. Формула Клейна–Нисины стала первой успешной попыткой одновременного применения теории относительности и квантовой механики к конкретному физическому явлению. Следует отметить, что именно эта формула вдохновила Чжао Чжунъюя на проведение экспериментов, о которых говорилось ранее. Как мы видим, мир физики в этот период отличался удивительной всеохватностью: идея японского ученого, работавшего в Копенгагене со своим шведским коллегой, вдохновила на открытие китайского ученого из Калифорнии. На краткий миг в начале XX в. возникла надежда, что научное сотрудничество действительно поможет построить более гармоничный мир.

В 1928 г. Ёсио Нисина наконец-то вернулся в Токио и едва узнал город. За время его отсутствия Япония пережила Великое землетрясение Канто в 1923 г., которое унесло жизни более 100 000 человек и превратило города в руины. Пострадала даже наука. «Главное здание физического факультета покрылось глубокими трещинами и, казалось, было готово рухнуть в любой момент, – вспоминал один из студентов Токийского университета. – Здание математического факультета выгорело дотла». Нисина вернулся в страну, которая все еще восстанавливалась после катастрофы. Тем не менее многие видели в этом возможность обновления. Из руин и пепла должна была родиться новая Япония.

Нисина едва ли не больше всех сделал для популяризации в Японии квантовой механики, которую считал будущим японской науки. В 1929 г. по его приглашению в страну приехали Поль Дирак и Вернер Гейзенберг, чтобы познакомить

японских студентов с основными понятиями и идеями квантовой механики. Он выступил в роли переводчика их лекций, а позже лично перевел эти лекции на японский язык. Нисина и сам ездил с лекциями по всей стране, вдохновляя новое поколение физиков (многие из которых впоследствии посвятили себя этой области). Возможно, важнейшим вкладом Нисины в развитие японской науки стала лекция, которую он прочитал в мае 1931 г. в Киотском университете. Среди присутствовавших в аудитории был студент физического факультета Хидэки Юкава. Он сидел как завороченный, пока Нисина описывал странный новый мир квантовой механики, и после лекции забросал профессора вопросами. Вряд ли тогда кто-то мог предположить, что этот молодой человек станет первым японским лауреатом Нобелевской премии.

Юкава родился в Токио в 1907 г. Его отец работал в Геологической службе Японии, основанной в 1882 г. (она была одним из новых научных учреждений, которые появились в стране в период модернизации Мэйдзи). Отец Юкавы путешествовал по всему миру, сотрудничал с геологами из Китая и Европы – словом, был образцом современного японского ученого конца XIX века. Другой значимой фигурой для юного Юкавы был его дед, уважаемый ученый-конфуцианец. Таким образом, Юкава рос в двух мирах – современном и традиционном. Отец учил его физике и химии, дед – китайской конфуцианской классике.

В конце концов Юкава решил последовать по стопам отца и в 1926 г. поступил на физический факультет Киотского университета. Но, как и многие другие студенты, он нашел университетский курс физики скучным. Его больше привлекала новая квантовая механика, чем устаревшие разделы программы. Поэтому Юкава решил учиться сам и часами просиживал в университетской физической библиотеке. «Меня не интересовали старые книги, которыми были заполнены полки. Но я жадно глотал статьи по новой квантовой теории, опубликованные в иностранных журналах, особенно немецких, за последние два-три года», – позже вспоминал он. Для начинающего 19-летнего физика самостоятельно освоить квантовую механику было настоящим подвигом, но Юкава был одержим этой темой. Вскоре к нему присоединился еще один увлеченный единомышленник по имени Синъитиро Томонага (впоследствии он станет вторым японским ученым, получившим Нобелевскую премию по физике), тоже студент Киотского университета. Они проводили вечера за разговорами о квантовой механике, перемежая их игрой в го.

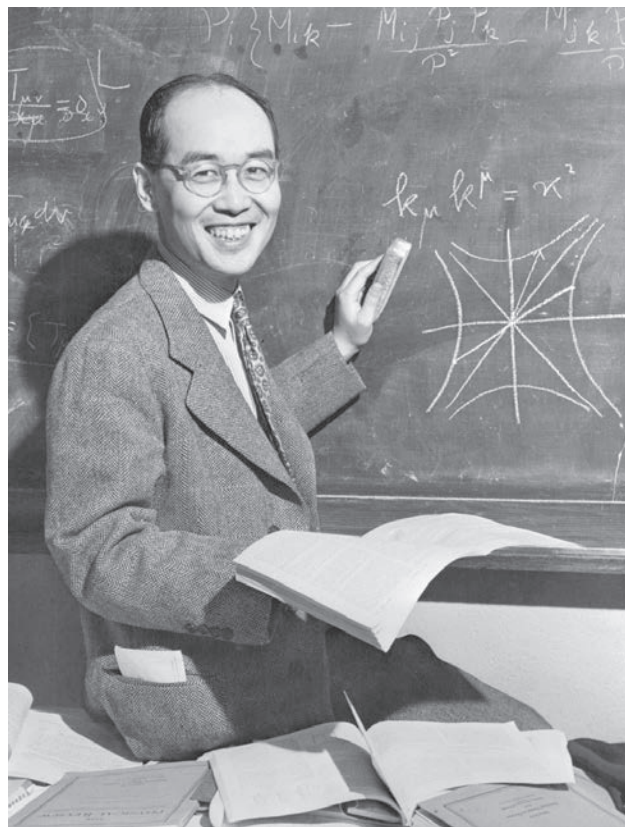
Юкава окончил университет в 1929 г., в самый разгар кризиса, который вскоре перерос в Великую депрессию, сокрушившую мировую экономику. В стране царил безработица, выпускников никуда не брали, и Юкава, взвешивая свои перспективы, уже подумывал о том, чтобы стать священнослужителем: так он, по крайней мере, порадовал бы деда. Но после посещения лекции Нисины в Киото Юкава понял, что не имеет права отказываться от своей страсти – теоретической физики. К счастью, в то время университеты оставались едва ли не единственными организациями, где еще были вакансии. В 1932 г. Юкава стал преподавателем на физическом факультете Киотского университета и, к огромному удовольствию студентов, сразу же начал читать новый курс по квантовой ме-

ханике. Год спустя Юкаве предложили должность в Осацком университете. Это был один из новых университетов, открытых правительством Японии в начале 1930-х гг. в рамках программы по развитию науки во всех регионах страны. Он уже успел приобрести определенную репутацию: туда стремились попасть те, кто проводил захватывающие современные исследования. Именно в Осаке Юкава сделал открытие, принесшее ему Нобелевскую премию.

17 ноября 1934 г. Юкава представил результаты своей недавней работы на собрании Физико-математического общества Японии. Но собравшиеся не придали большого значения его докладу – даже не подозревая, что слушают рассказ об одном из важнейших теоретических открытий в современной физике. Юкава сумел решить проблему, над которой ломали головы лучшие ученые того времени. Два года ранее кембриджский физик Джеймс Чедвик открыл нейтрон. Эта относительно массивная нейтральная частица находилась внутри атомного ядра и была связана с положительно заряженным протоном. Но имелась одна проблема. Было неясно, что превращает атомное ядро в единое целое, удерживая вместе его составные части. Это не мог быть электрический заряд, поскольку нейтрон не имеет заряда, а положительно заряженные протоны должны отталкиваться друг от друга. Физики предположили, что должна существовать какая-то другая сила, удерживающая вместе нейтроны и протоны. Но что это за сила? Юкава дал ответ на этот вопрос. В своей статье, опубликованной в начале 1935 г., он предсказал существование совершенно новой элементарной частицы, позже ставшей известной как мезон. Мезон, по мнению Юкавы, и был носителем того самого ядерного взаимодействия, которое связывало протоны и нейтроны в ядре.

Правота Юкавы была доказана несколько лет спустя. Знаменательно, что именно его старый наставник Ёсио Нисина подтвердил существование мезона экспериментальным путем. В то время Нисина возглавлял физическое подразделение в RIKEN. Кроме того, он недавно принял на работу университетского друга и соратника Юкавы, энтузиаста квантовой механики Синьитиро Томонагу. Вместе они начали охоту за мезоном. Юкава дал им несколько советов. Он предсказал, что мезон можно будет обнаружить только в том случае, если он обладает очень большой энергией, а его масса должна быть примерно в 200 раз больше массы электрона. В конце 1937 г. Нисина обнаружил на снимках, сделанных с помощью камеры Вильсона, линию – она предположительно соответствовала этим условиям. Он экспериментировал с космическими лучами высоких энергий, наблюдая за тем, что происходит при их столкновении с другими субатомными частицами в камере Вильсона. В некоторых случаях на короткое время появлялась новая частица, след которой был виден на снимках как тонкая белая линия. Это и была та самая предсказанная «частица Юкавы», как любят называть ее Нисина. Мезон действительно существовал.

В отличие от Китая и России, Япония в начале XX в. не сталкивалась с политической революцией, но ее наука тем не менее формировалась под влиянием международной политики. Смерть императора Мэйдзи в 1912 г. положила начало движению за реформирование японского общества. Новое по-



Физик Хидэки Юкава, ставший в 1949 г. первым японским лауреатом Нобелевской премии (Getty)

коление жаждало перемен в политической и интеллектуальной жизни. Одни молодые люди вступали в недавно созданную Коммунистическую партию Японии, другие начинали изучать квантовую механику, а некоторые, как ученый-физик Мицуо Такегати, работавший вместе с Юкавой в Осацком университете, делали и то и другое. В то же время Япония была решительно настроена упрочить свое военное и экономическое превосходство в Восточной Азии. Организованные правительством новые научные учреждения были призваны служить не только развитию науки, но и политическим целям. Так, институт RIKEN должен был способствовать «повышению уровня национального богатства» путем поддержки «новаторских исследований в области физики и химии». К 1930-м гг. японские физики, работавшие в этих новых научных учреждениях, совершили ряд крупных открытий. Новое поколение японских ученых считало современную физику ключом к лучшему будущему. Для Юкавы квантовая механика олицетворяла собой «либеральный дух» эпохи. Это была новая наука для новой Японии.

Редакция благодарит издательство ООО «Альпина Паблицер» за разрешение опубликовать отрывок из книги Джеймса Поскетта «Незападная история науки: Открытия, о которых мы не знали», © James Poskett, 2021, пер. Ирины Евстигнеевой, изд-во ООО «Альпина Паблицер», 2024 (ссылка на книгу: <https://alpinabook.ru/catalog/book-nezapadnaya-istoriya-nauki/>).



Атом во имя прогресса!

ЧЕЛОВЕК. ЭНЕРГИЯ. АТОМ

Научно-публицистический журнал

Собственник:

РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»

Адрес редакции:

180010, Республика Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б

Тел.: +7 722 51 3 33 33, факс: +7 722 51 3 38 58

E-mail: nnc@nnc.kz

web-сайт: www.nnc.kzz

Главный редактор:

Эрлан Батырбеков

Заместитель

Главного редактора:

Владимир Витюк

Медиа-консалтинг:

Наталья Утенкова,

Игорь Перепелкин

Фотограф:

Анна Мешина

Журнал зарегистрирован в Министерстве культуры и информации РК.

Свидетельство № 8764 от 12.11.2007 г.

Мнение авторов не обязательно совпадает с мнением редакции.

Любое воспроизведение материалов или их частичное использование
возможны с согласия редакции.

Выходит 1 раз в полугодие.

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии

КФ «Альфа-2030»

г. Кокшетау, ул. А. Баймуканова, 3, 2

тел.: 8-7162-25-14-90

e-mail: sks46@mail.ru



